

Desarrollo de animales antropomórficos como personajes de animación 3D



Grado en Ingeniería Multimedia

Trabajo Fin de Grado

Autor:
Carlos Soler Mujeriego

Tutor/es:
Mireia Luisa Sempere Tortosa

Julio 2021



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

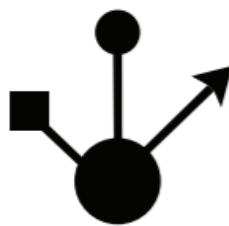
Desarrollo de animales antropomórficos como personajes de animación 3D

Autor

Carlos Soler Mujeriego

Tutora

Mireia Luisa Sempere Tortosa



Grado en Ingeniería Multimedia



Escuela
Politécnica
Superior



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Alicante, Julio 2021.

Resumen

En este trabajo de fin de grado se han desarrollado dos personajes en 3D a partir de bocetos en 2D. Estos personajes son animales antropomórficos y presentan una serie de características especiales a las que hubo que hacer frente durante cada etapa del desarrollo.

El proyecto se divide en varias fases conocidas como “pipeline de la animación 3D” utilizadas por las industrias de animación 3D al realizar proyectos. Particularmente se realizaron las fases relacionadas con el desarrollo de personajes.

El modelado se realizó con Maya. La geometría refleja la naturaleza híbrida de la anatomía de los personajes (con rasgos humanos y animales).

Para el texturizado se usó Substance Painter. Los materiales utilizados para las texturas dependen del diseño de cada personaje y ofrecen un gran nivel de detalle.

La fase de rigging (para poder mover y animar los personajes) se desarrolló en Maya usando un esqueleto al que se dotó de controladores que cualquier animador puede utilizar. Se implementaron funciones para poder alternar entre dos modos de movimiento (kinemática) en las extremidades. Se crearon huesos y controladores adicionales para la cola de uno de los personajes con su propia configuración de movimiento. La animación facial se realizó mediante blend shapes con expresiones faciales predefinidas que los animadores pueden combinar entre sí (en el desarrollo se definen algunas a modo de ejemplo).

Se han implementado capas de pelaje para los personajes mediante el uso de XGen, lo cual surge de la necesidad de tener pelo recubriendo el cuerpo de los personajes. Los personajes pueden ser utilizados sin capas de pelaje y sólo con texturas para ampliar la compatibilidad con otros programas o sistemas con bajos recursos.

Una vez completado el desarrollo, se implementó iluminación con HDRI y se utilizó el renderizador Arnold para producir las imágenes (renders) con los resultados finales. El producto final son dos personajes 3D modelados, texturizados, con capas de pelaje y que poseen varios sistemas de control para animar a los personajes.

Motivación, justificación y objetivo general

Toda mi vida he admirado la animación, me parece un medio que permite expresar ideas nunca vistas de forma visual, que desafía a la realidad. También creo que la animación es un medio que nos ayuda a escapar de la realidad cotidiana, permite explorar nuevos mundos, ideas y sentimientos. Desde niño me he criado viendo películas de animación, tanto en 2D como en 3D. He visto “*Monstruos S.A.*” y “*Toy Story*” un número incontable de veces, rebobinando la cinta para poder verlas desde el principio una vez más, siempre fascinado por cómo puede algo así ser producido con un ordenador. Todavía hoy en día sigo haciéndolo, sigo estando pendiente de todos los estrenos de animación y obras como “*Spiderman: Un nuevo universo*” o “*Coco*” me demuestran que la animación puede dar que hablar, ser innovadora y tener la capacidad de impresionar aún hoy en día. Los videojuegos también han formado una parte muy importante de mi vida por razones similares, permiten disfrutar de fantásticas historias y mundos además de hacernos encarnar a personajes fantásticos y me hacen sentir un poco más parte de una historia. Dentro de todo lo que acabo de contar sobre estos medios de entretenimiento, quizá lo que más me impresiona es la habilidad de dar vida a un personaje, la capacidad de plasmar en la pantalla un personaje que antes sólo existía en un papel o en un pensamiento. Mi objetivo en este proyecto es conseguir crear dos personajes en 3D pasando por todas las fases necesarias para el diseño y utilización de estos en otros proyectos: Modelado para crear su geometría en 3D; Texturizado para dotarlos de colores y texturas; y Rigging para poder articularlos y moverlos.

Para poder conocer más a fondo cómo funciona todo este proceso creativo que se lleva a cabo desde que se plasma el concepto de un personaje hasta llevarlo a la realidad y como proyecto personal, decidí elegir este tema por mi cuenta como trabajo de fin de grado de Ingeniería Multimedia. Además, debido a que ya existen varios proyectos donde se dota de vida a personajes humanos, decidí elegir intentar llevar a cabo un proceso similar pero con animales antropomórficos, un tipo de personaje que durante años ha formado parte del mundo de la animación y el cual ha evolucionado mucho con el tiempo, pero sigue estando presente a día de hoy. Quiero que este trabajo me permita descubrir cómo abordar las distintas necesidades que surgen al desarrollar personajes de estas características para animación 3D.

Durante la carrera exploré de forma introductoria el mundo de la animación 3D en la asignatura *Modelado y Animación por computador*, donde aprendí algunas bases fundamentales, modelé y animé en 3D por primera vez en mi vida. En *Realidad Virtual* también amplié mis conocimientos

en *rigging*, *motion capture* y *texturizado*. *Postproducción Digital* me ayudó además a profundizar en la importancia de la composición y retoques finales que se deben hacer a una obra audiovisual. Sin embargo, aunque he aprendido mucho, siento que aún me queda mucho por conocer y realizar un proyecto de esta magnitud de forma autodidacta puede ayudarme a aprender mucho, a saber cuáles son mis puntos fuertes y débiles y a satisfacer mi curiosidad.

Agradecimientos

No habría llegado hasta aquí sin todo el apoyo de mis amigos, tanto a los de toda la vida como a los que conocí en mi etapa universitaria. Ellos han sido quienes durante todos estos años de carrera me han escuchado mientras les contaba mis avances, proyectos y dificultades.

También quiero agradecer a mi tutora, Mireia, por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo de fin de grado y por su atención.

Por último, agradecer también a mi familia por todo el apoyo que me han dado, especialmente a mis padres por ayudarme siempre en todo lo que he necesitado, y espero llegar a ser como ellos algún día.

“Laughter is timeless, imagination has no age, dreams are forever”.

Walt Disney

“If we can be the best people we are as individuals, then that’s the way to change the world”.

Byron Howard

Índice de contenidos

Resumen.....	2
Motivación, justificación y objetivo general	3
Agradecimientos	5
Índice de figuras	10
Índice de tablas	16
1. Introducción	17
2. Estado del arte / Marco teórico	19
2.1. La animación 3D	20
2.1.1. Definiciones	20
2.1.2. Precursores de la animación en la antigüedad	20
2.1.4. Aparición y evolución de la animación por computador	24
2.1.5. Personajes de animación 3D	25
2.1.6. Usos de los personajes de animación 3D	26
2.2. Los animales antropomórficos	28
2.2.1. Definición	28
2.2.2. Uso de estos personajes en la animación	29
2.2.3. Presencia en la animación por ordenador	32
2.3. Conceptos necesarios para desarrollar un personaje de animación 3D	35
2.3.1. Modelado	35
2.3.2. Texturizado	42
2.3.3. Rigging y Skinning	47
2.3.4. Blend shapes	50
2.3.5. Captura de movimiento	50
2.4. Pelaje VFX / Fur Grooming	51
2.5. Ejemplo de personaje de animación 3D	52

3.	Proyectos previos	55
3.1.	Modelado de un edificio de juguete	55
3.2.	Modelado de la planta de un centro comercial	56
4.	Objetivos	59
5.	Gestión de riesgos	60
5.1.	Identificación de riesgos.....	60
5.2.	Análisis y evaluación de riesgos	61
5.3.	Tratamiento de riesgos	62
5.4.	Monitorización de riesgos	62
6.	Metodología y Planificación	63
6.1.	División del proyecto en fases (pipeline de la animación por computador)	63
6.2.	Estimación / Planificación temporal.....	65
6.3.	Herramientas utilizadas	67
7.	Diseño de personajes	72
7.1.	Diseño del zorro (Rapus)	73
7.2.	Diseño del oso (Urso)	76
7.3.	Diseños 2D definitivos.....	78
8.	Cuerpo del trabajo	79
8.1.	Modelado de personajes.....	80
8.2.	Texturizado de personajes	96
8.2.1.	Creación de los mapas de textura en Maya (UV Maps)	96
8.2.2.	Creación de las texturas preliminares en GIMP	99
8.2.3.	Texturizado con Substance Painter	102
8.2.4.	Exportar las texturas con Substance Painter.....	120
8.2.5.	Implementación de las texturas en Maya con el motor de renderizado Arnold ..	121
8.2.6.	Corrección de errores en las texturas	131
8.3.	Rigging de personajes.....	132

8.3.8.	Compatibilidad con captura de movimiento.....	148
8.4.	Animación facial (Blend shapes)	150
8.5.	Efectos especiales: Pelaje VFX con Xgen Interactivo (Fur Grooming).....	153
8.6.	Iluminación / Renderizado	157
9.	Resultados	160
10.	Conclusiones y trabajo futuro	163
10.1.	Alcance de objetivos	163
10.2.	Problemas encontrados	164
10.3.	Mejoras futuras	165
	Referencias.....	167
	Apéndice I – Orígenes y evolución de la animación por computador (1950-2000).....	180
	Apéndice II – Tabla de identificación de riesgos	186
	Apéndice III – Tabla de probabilidades y efectos de los riesgos.....	188
	Apéndice IV – Tabla de planificación contra los riesgos	191
	Apéndice V – Tabla de monitorización de riesgos	206
	Apéndice VI – Tabla de Skin Weights del zorro (Rapus).....	207
	Apéndice VII – Tabla de Skin Weights del oso (Urso).....	221

Índice de figuras

Figura 1. “Waitress” y “Croco”, personajes de animación 3D creados por el artista François Boquet.....	19
Figura 2. Jarrón de cerámica de Shahr-i Sokhta.....	21
Figura 3. Ejemplo de fenaquitoscopio. Posee dos animaciones, una en la parte exterior y otra en la parte interior. Este fenaquitoscopio fue creado por Simon von Stampfer.....	22
Figura 4. Bocetos de la animación de un personaje para el anuncio “The Bear and The Hare”. ..	23
Figura 5. Fotograma de la película Toy Story (1995) ©Walt Disney Pictures ©Pixar Animation Studios.....	24
Figura 6. Imagen de una gráfica que muestra el incremento actual y previsión del tamaño de mercado de la industria de la animación.	25
Figura 7. Diseño de John Teniel del conejo blanco en “Las aventuras de Alicia en el país de las maravillas”, un ejemplo de animal antropomórfico.	29
Figura 8. Fotogramas de cortometrajes del personaje “Police Dog” (1914,1916) ©Bray Studio.	30
Figura 9. Fotogramas de la película Robin Hood (1973). ©Walt Disney Productions. ©Walt Disney Animation Studios.	31
Figura 10. Fotograma de la película Zootopia/Zootrópolis (2016) ©Walt Disney Pictures ©Walt Disney Animation Studios.	33
Figura 11. Comparativa del modelo 3D de Fox McCloud en Star Fox 64 (1997) ©Nintendo y StarLink: Battle for Atlas (2018) ©Ubisoft. Fox McCloud pertenece a ©Nintendo.....	34
Figura 12. Editor de animales antropomórficos en Biomutant (2021) ©Experiment 101.	34
Figura 13. Elementos de una malla (mesh): polígonos conformados por vértices, ejes y caras.	36
Figura 14. Principales “face loops” de la cara para tener un buen edge flow, según la vista previa del curso “Blender Mesh Modeling Bootcamp”.	37
Figura 15. A la izquierda, ejemplo de subdivisión y, a la derecha, ejemplo de extrusión.	38
Figura 16. Superficie con flechas representando el vector normal de cada cara de la superficie.	39
Figura 17. Ejemplo de primeros pasos al modelar con box-modelling.....	41
Figura 18. Personaje esculpido (Sculpting) en Autodesk Mudbox.....	41
Figura 19. Representación de un modelo 3D junto a su mapa de coordenadas UV y aplicación de una textura sobre el mapa UV para cambiar la apariencia del modelo.....	44

Figura 20. Diferencias entre el uso de un mapas de normales y uno de desplazamiento.....	47
Figura 21. Personaje con controladores creados para el rigging (Concept art de Alex Braum, modelo creado por Olenka Denis y rigging realizado por Elise Mathez)	49
Figura 22. Tecnología de captura de movimiento siendo aplicada a un esqueleto con joints y al modelo 3D de un esqueleto.	51
Figura 23. Fotograma de la película Monsters INC./Monstruos S.A. (2001) ©Walt Disney Pictures ©Pixar Animation Studios.....	52
Figura 24. Modelo 3D de “Warrior Leopard”, creado por François Boquet.	53
Figura 25. Expresiones faciales de “Warrior Leopard”, creado por François Boquet.	54
Figura 26. Render final de “Warrior Leopard”, personaje creado por François Boquet y render realizado por Thales Simonato.....	54
Figura 27. Render en 3D Studio Max de mi primer proyecto: un edificio de “LEGO”.	55
Figura 28. Render en 3D Studio Max: centro comercial con una temática neon.	56
Figura 29. Frame de mi animación parodiando el logo de Pixar con un robot. Realizado en 3D Studio Max.	57
Figura 30. Frame de mi animación con naves espaciales basada en el videojuego R-TYPE.	57
Figura 31. Captura del videojuego “Brainsteel: Machine Madness”.	58
Figura 32. Render de un personaje modelado y riggeado por mí en Brainsteel: Machine Madness.	58
Figura 33. Logotipo de Autodesk Maya.....	67
Figura 34. Logotipo de Arnold.....	68
Figura 35. Logotipo de Substance Painter.....	69
Figura 36. El icono y mascota de GIMP, Wilber.	70
Figura 37. Logotipo de Mixamo.	71
Figura 38. Primer boceto de “Rapus”	73
Figura 39. Segundo boceto de “Rapus”	74
Figura 40. Tercer boceto de “Rapus” con vista lateral.....	75
Figura 41. Primer boceto de “Urso”	76
Figura 42. Segundo boceto de “Urso” con vista lateral.	77
Figura 43. Diseño final digitalizado de “Rapus”.	78
Figura 44. Diseño final digitalizado de “Urso”.	78
Figura 45. Espacio de trabajo en Maya 2018 para realizar el box modeling del zorro Rapus. La ventana está distribuida en tres, y dos de ellas me permiten ver los dibujos de referencia.	82
Figura 46. Primeros pasos de la construcción del cuerpo de Rapus.	83

Figura 47. Diferencias al visualizar el cuerpo de Rapus con “smooth preview” desactivado y activado.....	84
Figura 48. Modelado de la cola de Rapus siguiendo el diseño del personaje para mantener la consistencia.....	84
Figura 49. Detalle de las manos y patas de Rapus con el efecto “smooth mesh preview”, la malla original es verde y la geometría gris es el resultado de este efecto.....	85
Figura 50. Estado del modelado del cuerpo de Rapus justo antes de comenzar el modelado de la cabeza.....	85
Figura 51. Comparación de un cráneo humano con el cráneo de un zorro.....	87
Figura 52. Construcción de una cabeza humana, siguiendo los pasos de Sergi Caballer.	87
Figura 53. Progreso del modelado de Rapus, introduciendo elementos únicos de mi personaje y creando nueva geometría respetando los flujos de la geometría facial.....	88
Figura 54. Progreso del modelado del hocico, nariz y boca de Rapus.	88
Figura 55. A la izquierda, detalle del modelado de los dientes, lengua y garganta de Rapus. A la derecha, visionado de estos elementos con “smooth mesh preview”	89
Figura 56. A la izquierda, muestra de la geometría de los párpados que permitirá realizar un pestañeo. A la derecha, esferas utilizadas para los ojos de Rapus.	90
Figura 57. Versión definitiva del modelado de la cabeza de Rapus, donde se puede ver que se sigue respetando la referencia y los ojos se integran correctamente en la cabeza.	90
Figura 58. Espacio de trabajo creado para modelar al oso “Urso”.	91
Figura 59. Primeros polígonos creados para el modelado de Urso.	92
Figura 60. Primera versión del cuerpo de Urso.....	93
Figura 61. Progresión del modelado de la cabeza de Urso, construida a partir de la cabeza de Rapus.....	94
Figura 62. Detalle de zarpa y pata de Urso.	94
Figura 63. Primera versión del modelado de Urso.....	95
Figura 64. Modelo de Rapus junto al modelo de Urso. Comparación de altura.....	95
Figura 65. Captura de la interfaz de Maya con la vista de edición de UVs. A la izquierda se puede apreciar el modelo 3D con las líneas de corte o “seams” y a la derecha las diferentes “islas” de UVs.	97
Figura 66. Detalles de los diferentes cortes o “seams” de Rapus.....	98
Figura 67. Detalles de los diferentes cortes o “seams” de Urso.	99
Figura 68. Texturas preliminares creadas en GIMP de Rapus (superior) y Urso (inferior).	100

Figura 69. Texturas preliminares para los ojos de los personajes. Tienen su propia textura debido a que los ojos tienen su propio modelo separado del personaje.	101
Figura 70. Primera versión de los personajes protagonistas con sus texturas preliminares creadas en GIMP.....	102
Figura 71. Espacio de trabajo en Substance Painter.	103
Figura 72. Alto nivel de detalle en la textura del pelaje de Rapus conseguido gracias a los materiales aplicados en Substance Painter.	105
Figura 73. Ejemplo visual de la variación de la dirección en la que crece el pelaje de Rapus según el cambio en la rotación del material utilizado en Substance Painter (este efecto ocurre en consecuencia de la superposición de ambos lados del cuerpo en el mapa de textura UV al haber creado mi modelo con el efecto “mirror”).....	106
Figura 74. Progresión del texturizado de la mano de Rapus en Substance Painter (al no tomar esta imagen en Maya, la geometría no tiene “smooth mesh preview” activado).	107
Figura 75. Progresión completa del proceso de texturizado al cuerpo de Rapus en Substance Painter	108
Figura 76. Ejemplo visual de cómo la variación del parámetro “Scale” en un material de Substance Painter cambia el tamaño de los detalles aplicados a la nariz de Rapus.....	109
Figura 77. Detalle de los labios, dientes, lengua y garganta de Rapus en Substance Painter. .	110
Figura 78. Progresión completa del proceso de texturizado a la cabeza de Rapus en Substance Painter	111
Figura 79. A la izquierda, progresión del texturizado de la zarpa y garras de Urso. A la derecha, muestra del nivel de detalle alcanzado en la garra gracias a los materiales.	113
Figura 80. Progresión completa del proceso de texturizado al cuerpo de Urso en Substance Painter.....	114
Figura 81. Progresión completa del proceso de texturizado a la cabeza de Urso en Substance Painter	116
Figura 82. Proceso de texturizado de los ojos de Rapus en Substance Painter.....	117
Figura 83. Resultado de los personajes tras crear sus nuevas texturas en Substance Painter.	118
Figura 84. Resultado final de los rostros de los personajes en Substance Painter.....	119
Figura 85. Ventana de exportación de texturas en Substance Painter.....	120
Figura 86. Ventana de “Hypershade” junto a la ventana de propiedades de un material en Maya.	122
Figura 87. Render final de Rapus con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.....	126
Figura 88. Render final de Oso con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.	127

Figura 89. Render de los rostros de los personajes con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.....	128
Figura 90. Renders de los detalles de Rapus con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.	129
Figura 91. Renders de los detalles de Urso con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold	130
Figura 92. Corrección de errores en las texturas de Substance Painter.	131
Figura 93. Esquema con los diferentes joints utilizados para el esqueleto del zorro Rapus. Las flechas apuntan a los hijos de cada joint.	133
Figura 94. Esqueleto de Urso (izquierda) y de Rapus (derecha). Cada círculo representa un joint.	135
Figura 95. Espacio de trabajo de la herramienta “Paint Skin Weights Tool”, con la que hacemos el proceso de Skinning. En la captura, se observa la influencia del joint “L_Shoulder” sobre la geometría del modelo de Urso.	136
Figura 96. Imagen del esqueleto de Rapus, con un círculo rojo están marcados los joints que habrá que duplicar dos veces: una para FK y otra para IK.	138
Figura 97. Demostración de cómo los joints padres se ajustan automáticamente al mover un joint hijo en cinemática inversa. Lo único que estamos moviendo es el controlador del joint de la mano y todos los joints de detrás se reposicionan solos.	142
Figura 98. Demostración del pliegue de la cola. En morado están los joints del esqueleto principal. En cian están los joints del conjunto creado en el paso 3, el cual influencia la forma de los joints del esqueleto principal y, por tanto, su geometría.....	146
Figura 99. Demostración de funcionamiento del “Aim Constrain” para los ojos. Los ojos siempre mirarán hacia el controlador objetivo.	147
Figura 100. Controladores de Rapus. En azul: cinemática directa. En amarillo: cinemática inversa. En verde: IK/FK Switch. En rojo: Controlador para los ojos. En naranja: Controladores de la cola.	147
Figura 101. Controladores de Urso. En azul: cinemática directa. En amarillo: cinemática inversa. En púrpura: IK/FK Switch. En rojo: Controlador para los ojos. En naranja: Controladores de la cola.	148
Figura 102. Primeras pruebas de duplicados de la cabeza de Urso para mostrar diferentes emociones faciales.	151
Figura 103. Ventana del “Shape Editor” a la derecha. Expresión facial construida a partir de la aplicación total y parcial de varias blendshapes al modelo de Urso.	152

Figura 104. Modelo de Rapus tras aplicar varias blendshape para mostrar emociones de “alegría” y “tristeza”	152
Figura 105. Modelo de Urso tras aplicar varias blendshape para mostrar emociones de “confusión” y “enfado”	153
Figura 106. Capas utilizadas en XGen para los IGS de Rapus.	155
Figura 107. Capas utilizadas en XGen para los IGS de Urso.	156
Figura 108. HDRI utilizado para los renders de Rapus, “Lilienstein”. Creado por Andreas Mischok.	158
Figura 109. HDRIs utilizados para el proyecto, “Lilienstein” y “Forest Slope”. Creados por Andreas Mischok.	158
Figura 110. Implementación del HDRI “Forest Slope” en la escena de Maya.	159
Figura 111. Render final de Rapus sin pelaje VFX Xgen, sólo texturas.	161
Figura 112. Render final de Urso sin pelaje VFX Xgen, sólo texturas.....	161
Figura 113. Render final de Rapus con pelaje VFX Xgen.	162
Figura 114. Render final de Urso con pelaje VFX Xgen.	162

Índice de tablas

Tabla 1. Planificación temporal del proyecto.....	66
Tabla 2. Identificación de riesgos.....	186
Tabla 3. Probabilidades y efectos de los riesgos.....	188
Tabla 4. Planificación contra los riesgos.....	191
Tabla 5. Monitorización de riesgos	206
Tabla 6. Skin Weights de Rapus.....	207
Tabla 7. Skin Weights de Urso.....	221

1. Introducción

Los “personajes de animación 3D” forman parte de múltiples productos multimedia, se trata sencillamente de un conjunto de polígonos que representan personajes y pueden ser animados.

Podemos encontrar estos personajes 3D en cortometrajes de animación 3D, videojuegos, proyectos de realidad virtual y un largo etcétera. Al igual que unas líneas dibujadas en un papel pueden representar a un personaje, una serie de polígonos unidos por ordenador también es capaz de representar a un personaje. Lo más importante, y lo que diferencia a los polígonos de las líneas del papel, es que podemos mover la geometría y animarla sin necesidad de tener que volver a crearla desde cero, siempre y cuando creemos la geometría correctamente.

La animación 3D está en constante crecimiento, existen multitud de programas, técnicas y avances cada día para crear y animar personajes de forma diferente, pero en un área del conocimiento tan grande como es la animación 3D me da la impresión de que, a veces, es complicado encontrar información específica, actualizada o que ayude a explicar cómo utilizar varias herramientas al mismo tiempo sin que dejen de funcionar al unirlos. Debido a que crear un personaje 3D es un proceso largo y que depende mucho de la técnica a seguir y el software utilizado, me vi muy perdido la primera vez que intenté modelar y animar un personaje, por ello espero que este trabajo también pueda servir de guía a otros para aclarar algunos conceptos y una orientación sobre el orden a seguir para implementar los procesos que se llevan a cabo a la hora de crear personajes en 3D listos para ser utilizados en un proyecto grande.

En este trabajo se documentará el proceso de creación de dos personajes: dos animales antropomórficos, que se tratan de animales con cuerpo y rasgos similares a los humanos. Despertó mi interés la manera en que los animales antropomórficos son representados en los productos multimedia, particularmente en aquellos en que los personajes son tridimensionales, por lo que pensé que observar y documentar las dificultades que se presentan al intentar desarrollar estos personajes puede ayudar a otras personas a desarrollar este tipo de personajes en el futuro, así como satisfacer mi propia curiosidad.

Estos personajes se crearán intentando seguir lo más fielmente posible las fases de desarrollo utilizadas en la industria para crear proyectos de animación, centrándonos específicamente en aquellas que tienen que ver con la creación de los personajes. Además, estos serán desarrollados a partir de un diseño preliminar en dos dimensiones creado por una artista externa al proyecto,

y el desafío será replicar este diseño en 3D pasando por varias fases: modelar los personajes para crear su forma o geometría, texturizarlos para dotarlos del aspecto requerido, aplicar técnicas de rigging para permitir a un animador posar o animar a los personajes, blend shapes para poder crear animaciones faciales, permitir la posibilidad de usar datos de captura de movimiento y dotar a los personajes de capas de pelaje.

En definitiva, en este trabajo se pretende documentar de manera organizada una forma de implementar todas estas técnicas descritas anteriormente de manera que podamos tener un personaje completamente articulado en 3D listo para ser usado en otro proyecto y observar las necesidades específicas que los animales antropomórficos presentan a la hora de ser desarrollados como personajes tridimensionales que puedan ser animados.

2. Estado del arte / Marco teórico

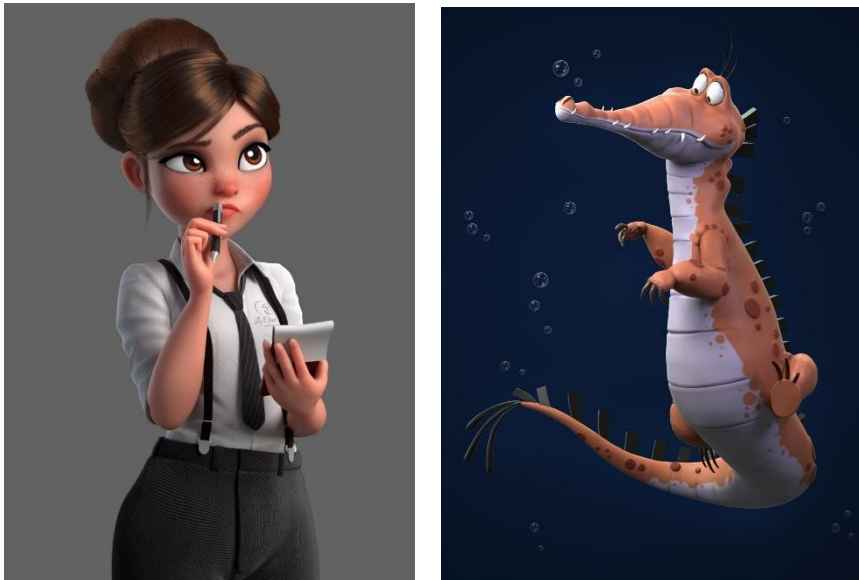


Figura 1. “Waitress” y “Croco”, personajes de animación 3D creados por el artista François Boquet.

(Fuente: <https://www.artstation.com/zackb>)

La **creación de personajes de animación 3D** es usualmente parte de un proceso mucho mayor para crear un producto multimedia (un cortometraje, una imagen, un videojuego...). En esta sección se explicarán los conceptos y técnicas utilizados a día de hoy para el desarrollo de personajes 3D los cuales serán extremadamente relevantes para poder comprender el desarrollo del trabajo y las decisiones tomadas, así como también se realizará una pequeña introducción histórica a los medios que han permitido hacer evolucionar a los personajes animados en 3D a lo largo del tiempo, también hablaremos de la presencia en estos medios del tipo de personajes que vamos a desarrollar en este trabajo.

El libro *“3D Animation Essentials”* escrito por Andy Beane [1] fue la principal fuente de información para explicar los conceptos de modelado, texturizado y animación en los apartados. También se utilizó como referencia bibliográfica en gran medida el libro *“The Art of 3D: Computer Animation and Effects”* escrito por Isaac Victor Kerlow [2] para investigar los avances en la industria de la animación por computador. El resto de las fuentes de información utilizadas/citadas se pueden consultar en el apartado Referencias.

2.1. La animación 3D

2.1.1. Definiciones

Resulta prácticamente imposible hablar de crear personajes en 3D sin mencionar la palabra “animación”. Más concretamente, animación generada por computador, la cual forma parte del área de conocimiento conocida como los gráficos por computador 3D. [1]

Existen varias definiciones para “**animación**”, la RAE define la animación como el “procedimiento de diseñar los movimientos de los personajes o de los objetos y elementos”. [3] La definición que da el diccionario de Oxford me parece más adecuada, “es el proceso de crear películas, videos o juegos de ordenador en el cual dibujos, modelos o imágenes de personas y animales parecen moverse” [4].

Este tipo de personajes es usado para generar productos multimedia relacionados con la animación por computador y los gráficos por computador en general, pues pueden ser utilizados para generar imágenes estáticas (conocidas como renders) sin necesidad de formar parte de un producto multimedia secuencial (como podría ser un cortometraje de animación 3D, un videojuego 3D o cualquier proyecto con personajes 3D en movimiento). [1]

Cuando se hable de “**animación 3D**” en los siguientes apartados, usualmente englobamos tanto proyectos no-secuenciales (imágenes estáticas) como proyectos con animaciones en movimiento (cortometrajes, videojuegos...). Esto es debido a que el software, las técnicas y los conceptos explicados en siguientes apartados usualmente pueden ser aplicados a crear cualquier tipo de producto ya sea secuencial o no-secuencial, y cuando haya una distinción significativa se hará hincapié en ella.

2.1.2. Precursores de la animación en la antigüedad

Algo que me pareció importante investigar antes de desarrollar este proyecto fueron los orígenes de todo aquello que rodea a la animación. La animación no surgió de la noche a la mañana, esta tuvo diferentes **precursores** alrededor de todo el mundo, y podemos datar ciertas **obras de arte e instrumentos** como aquellos que fueron los antecedentes de lo que hoy podemos considerar animación.

El primer indicio de lo que podríamos conocer como “animación” o “implicación de movimiento” se descubrió en la conocida como la “ciudad quemada”: **Shahr-i Sokhta** (Irán) aproximadamente en el 3200 antes de Cristo [5]. En este lugar se realizaron una serie de excavaciones arqueológicas donde se descubrió un **jarrón de cerámica** que se considera que representa la primera animación del mundo. Según el artículo de la página “Terraenantiqvae”, se considera que el cuenco “tiene grabado en su exterior una serie de imágenes que, haciendo girar el cuenco sobre sí mismo, muestran el movimiento de una cabra salvaje saltando para comer las hojas de un árbol. Lo que la convierte en la animación más antigua de la historia” [7].



Figura 2. Jarrón de cerámica de Shahr-i Sokhta.

(Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Animation_vase_2.jpg)

En el siglo XVII encontramos inventos como la “**linterna mágica**”, la cual era una especie de proyector que permitía proyectar diapositivas a una pared o a una pantalla [8] sorprendiendo al público, quienes pensaban que era magia [9]. En el siglo XIX encontramos ejemplos como el **taumátropo** (1824-1825) se trataba de un juguete o instrumento que permitía crear una ilusión óptica basada en el rápido intercambio entre dos imágenes, consiste en una cartulina atada a un hilo o cuerda por dos puntos opuestos de la cartulina [10]. Otro ejemplo es el **fenaquitoscopio** en 1832 [11], un disco que permitía mostrar secuencias de imágenes con movimiento en bucle gracias a los dibujos pintados en los lados de un disco [12], al girarse rápidamente engaña a nuestro ojo con una sensación de secuencia (una animación). En 1865 tenemos al **zoótropo**, un tambor circular y hueco en el que aparecen representadas imágenes, similar al invento anterior pero la diferencia es que se construía con rendijas para mirar al interior del tambor magia [13][14][15], Disneyland California Adventure realizó un “zoótropo gigante” de “*Toy Story 2*” en una exposición [16] y el invento perfeccionó el arte de las imágenes móviles de forma que incluso Walt Disney encontró este invento interesante [12]. En 1882 apareció el **flipbook** o **folioscopio**, páginas con dibujos que muestran una ilusión de movimiento o animación plegando todas las páginas con una mano y liberándolas poco a poco [17], varias

compañías decidieron utilizarlo para productos comerciales [17] [18]. Por último, en 1877, el **praxinoscopio** reflejaba imágenes a través de unos espejos dando la sensación o ilusión de movimiento al ojo al componerse de un tambor con un conjunto de espejos cuadrados en un cilindro central en medio [19], se puede considerar una evolución del zoótropo [20] [21].



Figura 3. Ejemplo de fenaquitoscopio. Posee dos animaciones, una en la parte exterior y otra en la parte interior. Este fenaquitoscopio fue creado por Simon von Stampfer.

(Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stampfer_disc.jpg)

2.1.3. Nacimiento y auge de la animación tradicional

Entendemos por “animación tradicional” a la creación de una ilusión de movimiento en líneas y formas dibujadas a mano [22]. Se trata, en otras palabras, de una secuencia creada a mano fotograma a fotograma. Fue la forma de animación más popular antes de la llegada de la animación por computador [23], y ha influido muchísimo sobre esta última.

A raíz de los instrumentos mencionados en el apartado anterior, no pasó mucho tiempo hasta que comenzaron a verse las primeras “películas” de animación: En “The Enchanted Drawing” (1900) J. Stuart Blackton interactuaba con un lienzo que iba cambiando de expresión facial e interactuaba con él mediante sutiles cortes de cámara, podríamos considerar a estos cambios en el lienzo “animación” [22]. En cambio, en “Humorous Phases of Funny Faces” (1906) también de Blackton si conseguimos ver fragmentos con animación fotograma a fotograma ininterrumpidos, aunque la mayoría del tiempo todavía eran trucos de cámara [22]. En 1911 tenemos un gran ejemplo de “película” completamente animada fotograma a fotograma con “Little Nemo in Slumberland” de Winsor McCay, aunque fue su trabajo en “**Gertie the Dinosaur**” (1914) es especialmente relevante para este trabajo, pues mostraba por primera vez la personalidad y las posibilidades que podía poseer un **personaje de animación**. [22] [24]



Figura 4. Bocetos de la animación de un personaje para el anuncio “The Bear and The Hare”.

(Fuente: <https://www.traditionalanimation.com/2013/behind-the-2d-animation-of-the-bear-and-the-hare>)

En esta época se usaban “cels” (hojas semitransparentes) también llamadas acetato para realizar animaciones, esto es lo que habitualmente entendemos como **animación tradicional**, se pintan los personajes sobre un cel, se pone este cel encima de un fondo pintado y se hace una foto al conjunto [23]. Cuando se reproducen secuencialmente varias fotos tomadas de esta forma, se crea la animación. Unos años después, los cortos de “Felix the Cat” asentaron los cimientos de algunas leyes de la animación en cortos de carácter surrealista mientras Disney comenzó a planear cómo hacer de la animación toda una industria y se centró en escenarios y personajes motivados por objetivos coherentes en un estilo que combinaba elementos de la realidad con animación que resultase entretenida [22], añadiendo también sonido a una animación por primera vez en “Steamboat Willie” (1928) con su personaje estrella Mickey Mouse [22][24]. Disney fue responsable de crear el primer largometraje de animación tradicional con “Blancanieves y los siete enanitos” (1937) [22][24]. A partir de este momento múltiples estudios crearon infinidad de largometrajes y series de televisión utilizando el estilo de animación tradicional [24].

El estilo de animación de Disney fue puramente dibujado a mano en todo momento hasta el estreno de “La sirenita” en 1989 donde empezaron a colorearse elementos por ordenador con el sistema CAPS (Computer Animation Production System) [23], y poco a poco se empezaron a utilizar más elementos de animación por ordenador que complementaban a la animación tradicional y, hoy en día, se utiliza software por ordenador para la animación 2D, ya no se utilizan celdas semitransparentes como antaño. En la actualidad, la animación 3D es la que está en auge, aunque todavía hay estudios (como Studio Ghibli) que continúan realizando largometrajes de animación 2D aunque ya no sea del modo “tradicional” [23].

2.1.4. Aparición y evolución de la animación por computador

No existiría la animación por computador si los ordenadores no hubiesen sido capaces de mostrar gráficos y si no se hubiesen creado técnicas para poder crear esta animación por computador.

La evolución de la animación por computador es asombrosa, en las décadas desde 1950 al 2000 se realizaron unos avances increíbles en el mundo de los gráficos por computador y en todas las industrias que hacen uso de la animación por computador (el cine, los videojuegos...). Citar cada uno de los avances y proyectos más relevantes desde los años 50 hasta el día de hoy ocuparía un gran espacio, por lo que se ha creado un apartado en el apéndice en el cual se puede hacer un rápido recorrido sobre la evolución de los gráficos y animación por computador en las últimas décadas previas al siglo XXI. Se puede consultar en el apartado Apéndice I – Orígenes y evolución de la animación por computador (1950-2000).



Figura 5. Fotograma de la película Toy Story (1995)

©Walt Disney Pictures ©Pixar Animation Studios.

(Fuente: <https://www.imdb.com/title/tt0114709/>)

Lo más importante es tener presente que en esos cincuenta años, se inventaron los ordenadores y estos fueron evolucionando, volviéndose más accesibles y potentes. Las primeras animaciones por ordenador ya se realizaron alrededor de los años 1960-1970, pero los primeros proyectos con personajes 3D aparecieron más tarde de manos de estudios como Pixar con Luxo Jr. (1986) o Tin Toy (1988), los gráficos por computador se adentraron incluso en el mundo del cine junto a actores reales en Tron (1982) o Jurassic Park (1993) y la industria de los videojuegos también sufrió un auge importante con su salto al 3D en los 90 con la salida de videojuegos como Super

Mario 64 (1996). Aunque las películas de animación ya implementaban elementos de animación 3D, no fue hasta 1995 con la salida de “Toy Story” que no tendríamos nuestro primer largometraje completamente animado en 3D, y a partir de ahí la industria fue evolucionando y haciendo resultados cada vez más espectaculares.

A medida pasaba el tiempo, los ordenadores cada vez eran más pequeños y asequibles para el público general, artistas y empresas de animación. Se crearon las GPUs dedicadas que permitían la renderización vía hardware e incrementaban la rapidez de renderizado drásticamente. Las **redes sociales** se hicieron populares en Internet, lo que resultó en que la gente pudiese compartir sus trabajos y descubrimientos del mundo de la animación con otros, y hoy en día la animación por computador es más variada y accesible que nunca.

Se prevé que la industria de la animación por computador no pare de crecer en mucho tiempo, debido al avance de la tecnología y a la demanda de los consumidores [25]. Algunas de las industrias más destacadas hoy en día son: Pixar Animation Studios, Walt Disney Animation Studios, Dreamworks Animation, Illumination, Paramount Animation... [26]

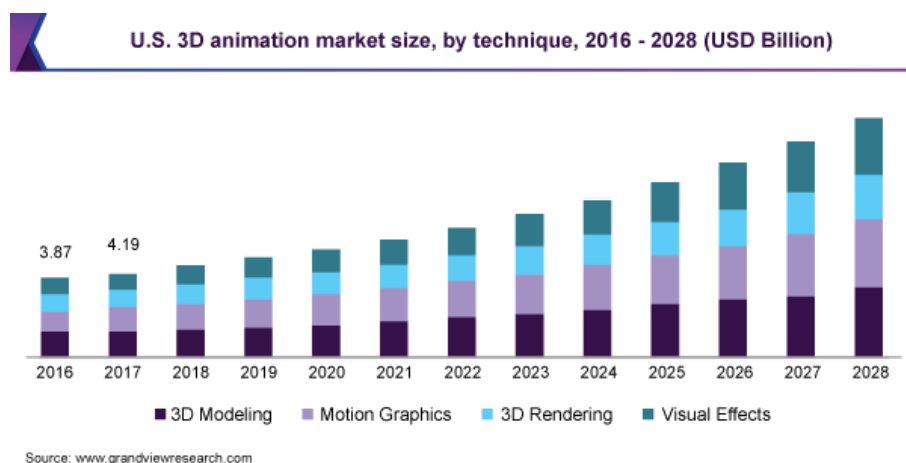


Figura 6. Imagen de una gráfica que muestra el incremento actual y previsión del tamaño de mercado de la industria de la animación.

(Fuente: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-animation-market>)

2.1.5. Personajes de animación 3D

Son utilizados en todo tipo de medios (no únicamente en cortometrajes o películas animadas), y es importante conocer qué es un personaje de animación 3D y en qué tipo de campos podemos encontrar usos para este tipo de personajes. En este proyecto van a crearse dos personajes de animación 3D, también podemos llamarlos “personajes 3D” (*3D Characters*).

No existe una definición oficial para “personaje de animación 3D”, un personaje de estas características no es más que un componente más de la animación por computador. Explicado de forma sencilla, un personaje de animación 3D no es más que un **modelo en tres dimensiones** (concepto que explicaremos más adelante) creado por ordenador que puede representar un humano, un animal, un ser ficticio, etcétera. Más concretamente, podemos decir que un personaje 3D es un **modelo 3D que representa a un personaje** y que este usualmente debe cumplir los requisitos que se definen en el proceso de preproducción de un proyecto multimedia (si se han creado bocetos o diseños dibujados de un personaje o indicaciones de cómo debería ser su aspecto redactadas por el creador, quien desarrolle este modelo debería cumplirlas o tenerlas en consideración a la hora de crearlo), aunque no existe una definición oficial exacta para “personaje de animación 3D”.

El modelo también necesitará cumplir ciertos requisitos técnicos en la forma en la que este es desarrollado si se pretenden realizar técnicas de animación sobre ellos como movimientos o animaciones faciales (si se va a animar un modelo, es recomendable seguir una serie de pautas para tener un modelo limpio y fácil de animar, especialmente si lo va a animar otra persona).

Debido a todos los procesos necesarios para crear un personaje 3D, usualmente se necesita un equipo de varias personas trabajando en los mismos en las diferentes fases de su creación [44]. Las diferentes fases de creación de estos personajes las estudiaremos en apartados posteriores.

2.1.6. Usos de los personajes de animación 3D

El principal uso de estos personajes radica en el mundo del **entretenimiento**. Como hemos mencionado anteriormente, el cine de animación y los videojuegos son los principales sectores donde podemos encontrar a estos personajes. [1]

En el **cine de animación**, todos los efectos están creados por computador, incluyendo a todos los personajes, por lo que es un medio en el que estos personajes son un pilar fundamental para poder crear el producto. No todo son largometrajes de animación, también encontramos **cortometrajes** (como los creados por la compañía Pixar) de una duración mucho menor que pueden ser utilizados para explorar nuevas formas de crear animación (como cuando Pixar probó el desarrollo de la técnica de las superficies de subdivisión en el corto *Geri's Game* de 1997) o como trabajos independientes a los largometrajes. También es muy habitual encontrar películas grabadas con actores de verdad en la que se usen personajes creados por ordenador mediante efectos especiales (desde clásicos como *Tron* en 1982 hasta películas más modernas

como “Vengadores: Endgame” en 2019) ya que permiten crear personajes fantásticos imposibles de filmar en la vida real o dobles de los actores para determinadas escenas. [1]

No debemos olvidar tampoco la presencia de estos personajes en la **televisión**, existen multitud de series animadas en 3D hoy en día, que al igual que las películas que hemos comentado antes, son generadas completamente por computador. También es muy habitual encontrar personajes en 3D cuando se recrea una escena para ayudar a mostrar una situación de forma más clara y poder explicarla al público (por ejemplo, la recreación de un crimen). [1]

La industria de los **videojuegos**, como ya hemos mencionado, es uno de los ejemplos más claros de uso de personajes animados en 3D. No todos los videojuegos tienen por qué hacer uso de modelos, pero es muy habitual que este sea el caso. Estos personajes 3D pueden formar parte de escenas cinemáticas dentro del juego (vídeos de animación pre-grabado) y/o ser un personaje que puede verse dentro del juego en tiempo real ya sea controlado por el jugador o por la máquina. Estos videojuegos pueden ser desarrollados para ordenador, videoconsolas, smartphones... Algo que es muy importante es tener en cuenta que, a diferencia de en el mundo del cine o las series de televisión, estos modelos 3D están siendo procesados en tiempo real, por lo que es muy importante hacer un modelo optimizado para la máquina que vaya a ser utilizada y dependiendo de la situación en la que este va a ser utilizado (deberemos ahorrar más recursos si el juego planea tener 100 personajes en pantalla al mismo tiempo que si solo quiere tener 3) [1].

También es habitual encontrar uso para estos personajes en la **publicidad**, existen múltiples marcas que utilizan a personajes 3D en la publicidad tanto en la televisión como en servicios de internet como YouTube. Al igual que en la industria del cine, pueden formar parte de un anuncio completamente creado por ordenador o ser personajes 3D integrados a un anuncio grabado con actores reales [1].

Aunque la industria del entretenimiento sea donde podemos encontrar la mayoría de los personajes 3D, estos pueden ser utilizados para otros medios como el ámbito **médico** para distinguir las distintas partes del cuerpo; en el ámbito **jurídico** para recrear un crimen o un escenario hipotético; o en la **educación** para explicar conceptos complicados a niños con animaciones [1].

2.2. Los animales antropomórficos

Decidí investigar la presencia de este tipo de personajes en los medios actuales debido a que es el tipo de personaje que va a ser desarrollado en el proyecto, son un tipo de personajes muy prevalente en la industria de la animación y el entretenimiento.

2.2.1. Definición

Según la RAE, el **antropomorfismo** es la “atribución de cualidades o rasgos humanos a un animal o a una cosa” [27]. Otra definición, de Oxford languages, indica que es la “atribución de forma o cualidades humanas a lo que no es humano, en especial a divinidades, animales o cosas” [28]. La palabra “antropomórfico” viene del griego “anthrōpos” (ser humano) combinado con la palabra morphē (forma). No se debe confundir con el término “zoomorfismo”, el cual Oxford languages define como “Acción de dar forma o apariencia animal a algo que por naturaleza no la tiene” [29].

Un **animal antropomórfico** es, por lo tanto, un animal al que se le atribuyen características, forma, rasgos o cualidades humanas. Esta definición es muy amplia y puede definir a muchos tipos diferentes de personajes.

Tal y como indica Stéphane Collignon en su estudio *“They Walk! They Talk! A study of the anthropomorphisation of non human characters in animated films”* [30], cuando hablamos de “antropomorfización”, podemos hablar de varios niveles:

Una primera categoría donde objetos, animales o plantas se representan de manera realista, o de manera no realista siempre y cuando se mantengan similares a su forma natural, pero tengan elementos ligados a la psique humana: por ejemplo la intencionalidad en las acciones o dotándoles de la habilidad del habla (ejemplos de este nivel serían el perro Pluto de Disney o el dinosaurio Gertie).

La segunda categoría sería representar personajes no humanos en entornos humanos, haciendo a estos personajes vivir en entornos humanos o llevar ropas humanas total o parcialmente (por ejemplo, los personajes de la serie los Osos Gummi) pero sin alterar de forma considerable su fisiología.

En la tercera categoría encontraríamos la gran mayoría de estos personajes: se trata de modificar la fisiología de un personaje no humano para dotarlo de características humanas. Por ejemplo: Felix the Cat, Mickey Mouse, Bugs Bunny...



Figura 7. Diseño de John Tenniel del conejo blanco en “Las aventuras de Alicia en el país de las maravillas”, un ejemplo de animal antropomórfico.

(Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Down_the_Rabbit_Hole.png)

Estas categorías sin embargo deben ser meros puntos de referencia de un gran espectro, pues existen muchos personajes a los que sería difícil clasificar con totalidad en una única categoría [30].

2.2.2. Uso de estos personajes en la animación

Los primeros indicios de animales con características humanas pueden ser encontrados en diversos lugares en la historia (pinturas rupestres, pinturas representativas de egipcios e hindúes...) [32], y también han estado presente en varios medios de entretenimiento (por ejemplo en las historietas de periódico “Garfield” desde 1978 hasta la actualidad) pero lo que nos interesa es conocer su presencia en el mundo de la animación.

Los primeros animales con características humanas en la animación eran mascotas, en su mayoría perros que tenían características humanas para gesticular [32] [33]. No fue hasta 1914 que empezaron a aparecer los primeros animales antropomórficos con una apariencia más humana y autosuficientes, estos fueron “Old Doc Yak” y “Police Dog” creados por Bray Studio [32] [33].



Figura 8. Fotogramas de cortometrajes del personaje “Police Dog” (1914,1916) ©Bray Studio.

(Fuente: <http://brayanimation.weebly.com/police-dog.html>)

Tres años más tarde, Johny B. Gruel (animador de Quacky Doodles) indicó que “los personajes que más gracia hacían a la persona media eran los pájaros y animales humanizados” [32]. El éxito que tendrían el gato Félix y Mickey Mouse años después parece demostrar que no estaba equivocado, y los animales antropomórficos han formado parte de la industria desde entonces.

El uso de estos personajes ha permitido a través de los años crear películas y series infantiles orientadas a un público infantil que tratan temas sociales complejos, pero a través del uso de personajes caricaturescos como son los animales antropomórficos, enmascaran el mensaje en una capa de personajes agradables para el público infantil [31] [34]. También permiten a un público infantil disfrutar de adaptaciones de novelas clásicas e historias antiguas. Un claro ejemplo de esto es la adaptación de “Robin Hood” (1973) de Disney [34], donde todos los personajes de la historia original son ahora animales antropomórficos, lo cual permite añadir un extra de significado a los personajes de la historia en función de con qué animal es representado cada uno de ellos.

Estos fueron los motivos por los que cada animal añadía significado a cada personaje, según el Product Designer de la película: Robin Hood, el protagonista, es un zorro debido a que es un ladrón escurridizo, aunque bondadoso; Little John fue representado con un oso debido a que era conocido por su gran tamaño; el rey Ricardo fue representado con un león para realzar su realeza, fuerza y orgullo (y su hermano, el antagonista príncipe John, fue también representado con un león pero mucho más delgado e infantil); el malvado sheriff de Nottingham es un lobo ya que el director consideró que este animal era popularmente asociado a la maldad, etcétera [34] [35] [36] [37].



Figura 9. Fotogramas de la película Robin Hood (1973).

©Walt Disney Productions. ©Walt Disney Animation Studios.

(Fuente: <https://www.imdb.com/title/tt0070608/>)

En definitiva, utilizar animales antropomórficos en una historia conocida puede añadir un extra de significado a los personajes de esta. Un par de ejemplos de esto podrían ser dos famosas producciones españolas con este tipo de personajes: “D’Artacan y los tres mosqueperros” (1981-1982) y “La vuelta al mundo de Willy Fog” (1984).

Estos personajes también hacen acto de presencia en otras formas de animación aparte de la animación tradicional en 2D, por ejemplo el director de cine Wes Anderson creó varias películas en stop-motion con personajes de este tipo: en “Fantástico señor Zorro” / “Fantastic Mr. Fox” (2009) los personajes son animales antropomórficos de tercer nivel (su cuerpo es similar al humano, llevan ropa...) que conviven con los humanos y donde el protagonista en ocasiones cuestiona qué significa ser un animal y reprime su naturaleza, introduciendo temas filosóficos relativos a la identidad de uno mismo y qué significa ser parte de una clase o especie [38]. Otro ejemplo del mismo director es “Isla de Perros” / “Isle of Dogs” (2018), donde los personajes protagonistas son perros que, a diferencia de en la película anterior, son perros como los que encontramos en la vida real pero sólo pueden comunicarse entre ellos, poseyendo sin embargo rasgos de expresividad e intencionalidad como los del primer nivel de antropomorfismo (los perros pueden hablar y entenderse entre ellos, pudiendo expresar sus ideas y sentimientos entre sí pero no a los humanos).

Otro ejemplo de personajes de este tipo lo encontramos en la serie de animación adulta “BoJack Horseman” de Netflix, donde encontramos una sociedad de animales antropomórficos y seres humanos que conviven en una sociedad y se ven como iguales. Los personajes se comportan completamente como seres humanos, aunque aún poseen características de su lado animal para

escenas de humor. Esta serie entra en detalle en temas humanos como la depresión, las adicciones y otras enfermedades mentales. Pienso que utilizar este tipo de personajes que ayuda a suavizar los temas duros de los que trata, y permite explorar muchos temas tabú que muy raramente se ven representados en las series animadas (como enfermedades de salud mental [41] y raíces de pensamiento como el nihilismo existencial [42]), se trata de un ejemplo perfecto para demostrar cómo los animales antropomórficos pueden encajar en animación no únicamente infantil, sino para un público adulto.

2.2.3. Presencia en la animación por ordenador

Los animales llevan formando parte de la industria de la animación 3D desde la primera película animada en 3D, *“Toy Story”* (1995). En este caso el personaje se trataba de un perro mascota al que podríamos asociar con características del primer nivel de antropomorfismo mencionado anteriormente, pero no es hasta años más tarde que encontramos ejemplos más claros del uso de animales antropomórficos en la animación 3D.

Volviendo al tema de anterior de cómo se pueden contar historias complejas para un público infantil usando animales antropomórficos, un claro ejemplo de esto es la película *“Buscando a Nemo”*, la cual entre otros temas nos habla de la ansiedad y preocupación que lleva a un padre viudo a enfrentar estos miedos para encontrar a su hijo desaparecido [31]. Una de las películas más destacables de los últimos años con animales antropomórficos es *“Zootrópolis”* (2016), también conocida como *“Zootopia”*. En esta película los personajes, que son animales antropomórficos, viven en una sociedad “humana” pero al mantener distintas cualidades de sus especies animales uno de los conflictos generales de la película se basa en estas diferencias (esto genera problemas de adaptación de cada una de las especies en la sociedad, conflictos de odio social entre diferentes especies...) [31] [39] [40]. Estos mismos conflictos sociales los podemos observar en la serie de animación de Netflix *“Beastars”* (2019) basada en el manga del mismo nombre, aunque esta serie tiene un tono más oscuro y adulto, donde todos sus personajes son animales antropomórficos y la serie también gira, entre otras cosas, alrededor de los conflictos que ello implica. Estos dos últimos ejemplos especialmente muestran cómo la decisión de crear personajes de diseño humano-animal forman parte de la narrativa y no únicamente una mera decisión estética de los personajes.



Figura 10. Fotograma de la película Zootopia/Zootrópolis (2016)

©Walt Disney Pictures ©Walt Disney Animation Studios.

(Fuente: <https://www.imdb.com/title/tt2948356>)

También es habitual ver a este tipo de personajes incorporados en **películas de acción real** (*live-action*) junto a actores de carne y hueso. Podemos observar un claro ejemplo en el personaje de Marvel “*Rocket Raccoon*”, el cual ha aparecido en varias películas del estudio como “*Guardianes de la Galaxia*” (2014) o “*Vengadores: Endgame*” (2019).

En la industria de los **videojuegos** es también muy habitual encontrar este tipo de personajes, y es interesante cómo la forma de representar modelos de animales antropomórficos ha ido **evolucionando** a medida la tecnología va siendo cada vez más potente (como podemos ver en la Figura 11). Algunos ejemplos en este sector podrían ser Fox McCloud de la saga Star Fox, Ratchet de la saga Ratchet & Clank o Sly Cooper de la saga homónima.

Otro de los ejemplos más recientes en el momento de redactar este proyecto es el videojuego “*Biomutant*” (2021) del desarrollador Experiment 101. Este videojuego nos permite jugar como un mutante que nosotros diseñamos en un **editor** de personajes.

Desarrollar este tipo de personajes requiere de una serie de particularidades que no hay que tener en cuenta cuando desarrollamos seres humanos normales: los animales antropomórficos conservan elementos de los animales que deberán ser tenidos en cuenta a la hora de modelar y animar a estos personajes, y descubrir cómo solventar estos problemas será uno de los objetivos de este proyecto.



Figura 11. Comparativa del modelo 3D de Fox McCloud en Star Fox 64 (1997) ©Nintendo y StarLink: Battle for Atlas (2018) ©Ubisoft. Fox McCloud pertenece a ©Nintendo.

(Fuentes: https://nintendo.fandom.com/wiki/Fox_McCloud/gallery?file=Fox_McCloud_-_Star_Fox_64.jpg , <https://nintendosoup.com/gallery-star-fox-renders-in-starlink-battle-for-atlas/>)



Figura 12. Editor de animales antropomórficos en Biomutant (2021) ©Experiment 101.

(Fuente: <https://gamerant.com/biomutant-character-creation-explained-stats-mutation/>)

2.3. Conceptos necesarios para desarrollar un personaje de animación 3D

En este apartado se listarán las principales etapas y conceptos de los que se debe tener conocimiento a la hora de desarrollar un personaje 3D. Gran parte de la información recopilada para este apartado fue recopilada del libro “3D Animation Essentials” escrito por Andy Beane [7].

2.3.1. Modelado

Cuando hablamos de “**modelar**” un objeto, nos referimos al acto de crear un objeto en 3D. Un objeto 3D se puede crear de varias maneras: desde 0 utilizando un software de creación 3D, o utilizando métodos como escáneres 3D de fotogrametría. Modelar también engloba al acto de editar un modelo 3D ya existente creado de cualquiera de las anteriores formas, se trata de crear o modificar un objeto en 3D para conseguir otro nuevo [1]. En este ámbito, existen muchos elementos básicos que se deben tener claros para poder hablar en detalle sobre cómo se modela un objeto:

En la mayoría de casos, **lo que se utiliza para modelar en 3D son polígonos**. Se trata de elementos conformados de 3 **vértices (vertex)** como mínimo, que son puntos en el espacio. Estos vértices están unidos entre sí por líneas, llamadas ejes (edges). Por último, la superficie entre estos vértices se rellena y se llama cara (face). Cualquiera de estos tres elementos puede ser manipulados por el modelador para conseguir los resultados esperados. Cuando se vea la imagen final de un modelo, no se verán ni los vértices ni los ejes, solamente las caras. Varios polígonos conforman una malla (mesh), que puede tomar infinitas formas según las necesidades del modelador. [1]

En los softwares de edición 3D, habitualmente un único objeto 3D puede conformarse de diferentes mallas separadas, sin necesidad de que estas compartan geometría. Por ejemplo, el cuerpo y los ojos de un personaje no tienen por qué ser parte de la misma malla, pueden estar separados en diferentes mallas aunque formen parte de un único objeto. [1]

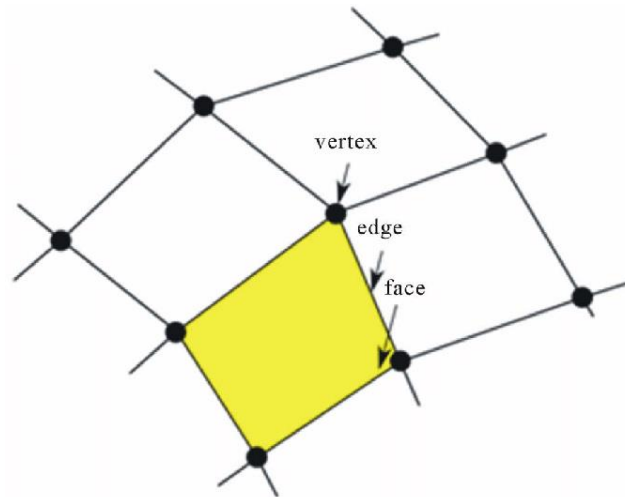


Figura 13. Elementos de una malla (mesh): polígonos conformados por vértices, ejes y caras.

(Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Mesh-elements-vertex-edge-and-face_fig3_272666473)

Habitualmente, **los modeladores utilizan caras de 4 vértices (*quads*)** porque utilizar caras de más de cuatro vértices (***n-gons***) suele ocasionar problemas cuando se utilizan determinadas funciones, dando resultados inesperados relacionados con la aparición de **artefactos** (sombras u elementos extraños indeseados en las imágenes del resultado final). Tampoco es recomendable usar sólo caras de 3 vértices (***tris***) debido a que esto ocasiona problemas a la hora de animar objetos o aplicar técnicas como las superficies de subdivisión. [45] [46]

Específicamente hablando de la creación de **personajes 3D**, La forma en que los ejes fluyen sobre el modelo de un personaje se conoce como **“Edge Flow”** o flujo de ejes. Tener un modelo con un buen “Edge Flow” implica que hay una razón lógica por la que los ejes están colocados de una determinada manera. Por ejemplo, para el modelado de personajes orgánicos, con un buen Edge Flow los ejes emularían la estructura de la musculatura de una persona. En la cara de un personaje, los ejes deberían simular los distintos pliegues que tenemos en la cara, para ser similar a nuestra musculatura facial. Se trata de una especie de “loops” o serie de caras consecutivas que da toda una vuelta. Tener un buen Edge Flow garantiza que un personaje podrá ser animado con más facilidad y un resultado más natural [70].

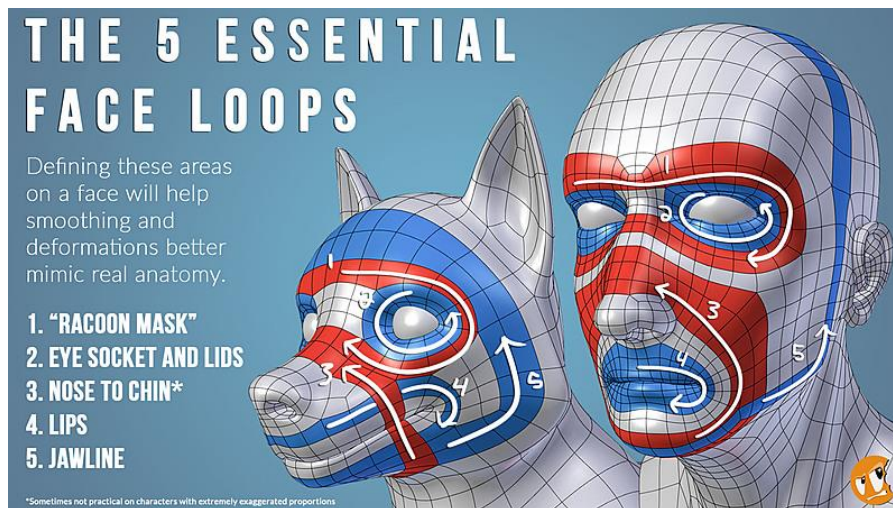


Figura 14. Principales “face loops” de la cara para tener un buen edge flow, según la vista previa del curso “Blender Mesh Modeling Bootcamp”.

(Fuente: <https://cgcookie.com/course/mesh-modeling-bootcamp>)

Es muy importante (casi imprescindible) respetar un buen flujo de ejes si se desea animar un personaje, porque de lo contrario la geometría nos dará muchos problemas a la hora de realizar animaciones, ya que es mucho más fácil y natural animar algo que ya es similar de por sí a la estructura de la musculatura humana que polígonos creados sin ningún tipo de planificación [47] [48]. Según el curso “Blender Mesh Modeling Bootcamp” [49], los principales “Edge flows” de la cara se encuentran en las cinco zonas que se indica en la Figura 14. Principales “face loops” de la cara para tener un buen edge flow, según la vista previa del curso “Blender Mesh Modeling Bootcamp”. Sin embargo, también existen otros artistas que utilizan aproximaciones ligeramente distintas [48].

Un **conjunto de polígonos** constituye una **mall**a (*mesh*). [1] A estas mallas se les puede aplicar todo tipo de **operaciones o transformaciones** para ayudar en el proceso de modelado. A continuación, se describirán algunas de las usadas en este proyecto:

- **División / Edge Loop:** Se trata de añadir un eje en mitad de las caras de la geometría. Es muy útil en superficies en forma de “lazo” (empiezan y terminan en el mismo eje), como un cilindro, ya que nos permite hacer un “corte” en medio, y los ejes creados por este corte los podemos manipular para hacer nuevos objetos. En relación al concepto de flujo de ejes mencionado antes, siempre resulta mucho más sencillo realizar técnicas de división en geometría con un buen flujo de ejes o Edge Flow, debido a que se creará un corte limpio entre los ejes del modelo. En las imágenes se puede ver con mucha más claridad la utilidad de este concepto. [1]

- **Smoothing / Subdivisión:** Realizar una subdivisión, como su propio nombre indica, transforma las caras de una geometría en 2 o más y realiza un promedio de los ángulos de la cara original para determinar los ángulos de las nuevas. Si dos caras conectadas por dos ejes conforman un ángulo de 40º, si los subdividimos, la curva seguirá siendo la misma pero por cuatro caras inclinadas con ángulos de 20º. [1]
- **Extrusión:** Se trata del proceso de creación de un polígono a una distancia de otro, uniendo la superficie que hay entre el nuevo polígono y el antiguo. Se pueden extruir vértices, lo que sólo genera otro vértice unido por un eje. Si se extruye un eje, se genera otro nuevo eje unido por una cara al anterior. Si se extruye una cara, se crea una nueva cara unida por una serie de ejes a la cara original, y estos ejes a su vez conforman nuevas caras (en este caso, la cara original es eliminada). [1]

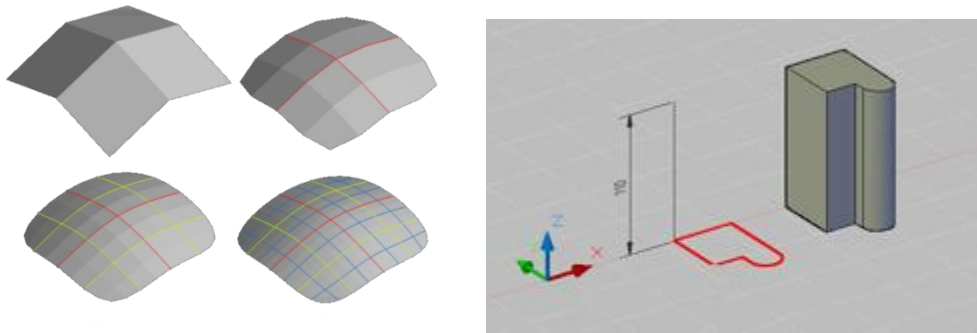


Figura 15. A la izquierda, ejemplo de subdivisión y, a la derecha, ejemplo de extrusión.

(Fuentes: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catmull-Clark_subdivision_4_planes_levels_0-3.png
<https://www.3dcadportal.com/extrusion.html>)

- **Combinar / Separar:** Existen determinadas técnicas que nos permiten combinar dos mallas 3D que en principio están separadas. Por ejemplo, si cogemos dos esferas pero hacemos una cara entre dos de sus ejes, técnicamente ahora estas esferas conforman una sola malla. A veces es importante mantener los objetos 3D unidos en una única malla, pero depende del caso. Como se ha mencionado antes, un único “objeto” 3D puede componerse de varias mallas diferentes separadas, sin necesidad de estar físicamente unidas por ningún eje. [1]

La forma en la que los polígonos son visualizados en el resultado final dependen del **shading** o “sombreado” que utilice el programa. La forma en la que visualizamos una cara depende del valor de la normal de cada cara. La **normal** es un vector o línea vectorial que sale perpendicularmente de una cara, y permite definir qué parte de la cara es la frontal (front) o la trasera (back). La **cara trasera** (back) **usualmente no se muestra** en la mayoría de los programas,

por lo que es importante definir bien cuál es la cara frontal de todos nuestros polígonos (no definir las bien también ocasiona problemas con algunas técnicas usadas para el texturizado, entre otras cosas). [1]

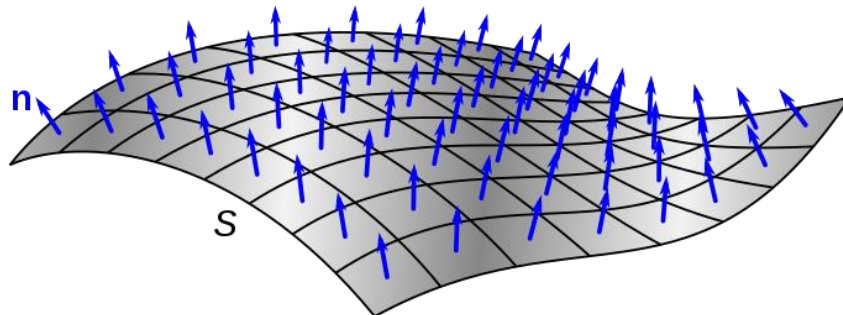


Figura 16. Superficie con flechas representando el vector normal de cada cara de la superficie.

(Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Normal_vectors_on_a_curved_surface.svg)

Las normales también son muy importantes en el proceso de definir el sombreado de un objeto (cómo se aplican las **sombras** sobre las caras): Se puede utilizar el ángulo formado por la línea vectorial mencionada anteriormente, lo que nos genera caras completamente planas sin ningún tipo de suavizado entre ellas. En cambio, si utilizamos otros métodos como las normales de vértices (vertex normal o Gourard Shading), podemos asignarle un valor a los vértices calculado a partir de las líneas vectoriales de los ejes de alrededor, para conseguir un efecto suavizado y progresivo. Esto puede ser útil para conseguir resultados redondeados sin necesidad de aplicar técnicas de subdivisión como las mencionadas anteriormente, especialmente en industrias como la del videojuego donde un alto nivel de polígonos no es viable para conseguir velocidades estables dentro del juego (el ordenador no puede mover geometrías muy grandes en tiempo real), sin embargo utilizar este tipo de trucos de shading sí que resulta provechoso. En industrias como el cine, a diferencia de los videojuegos, esto no es tan importante porque no hay necesidad de mostrar la geometría en tiempo real, simplemente se computa previamente y luego se monta en vídeo. Sin embargo, no todas las empresas cuentan con tiempo ilimitado de procesamiento para mostrar modelos muy cargados de polígonos o no tienen los recursos necesarios para manejar geometría muy grande en los programas de edición, por lo que este tipo de técnicas de shading pueden ayudar a todo tipo de industrias según sus necesidades. [1]

Existen, además, varias formas para realizar modelos en 3D en función de la forma en la que se desarrolla el modelo hasta llegar al resultado final. Estas son las que considero más relevantes:

- **Completamente desde cero:** Se trata de crear el resultado esperado solamente a partir de un vértice, una cara o un eje. En esencia, consiste en **crear todo a mano** sin ayudarse de nada. Se trata de una técnica lenta y poco recomendada. [1]
- **A partir de primitivas:** Se trata de utilizar y **combinar las formas predefinidas** por el programa (cuadrados, esferas...) para crear un modelo. Puede ser útil para estructuras muy sencillas como una silla, una mesa, etcétera. La desventaja de este método es que, si no se retoca, pueden quedar muchas caras ocultas (caras que están literalmente ocultas por otra geometría y nunca se van a ver en el resultado final) entre las primitivas que pueden influir en el rendimiento (especialmente en industrias donde es importante optimizar, como en los videojuegos). Es una técnica sencilla y rápida, útil para empezar a conocer el entorno 3D. [1]
- **Box Modelling:** Con este método, se trata de **conseguir geometría compleja empezando únicamente por un cubo** o una geometría simple, usualmente para crear personajes. A partir de este cubo, se van extruyendo brazos, piernas y demás elementos para conseguir la forma básica de aquello que queremos modelar. Cuando tengamos la forma básica, se trata de **ir poco a poco refinando** y añadiendo detalle utilizando las técnicas que hemos visto en páginas anteriores hasta conseguir el resultado deseado. Lo bueno de esta técnica es que tenemos siempre el **control total de nuestro flujo de ejes** o Edge Flow, y si no lo descuidamos nos servirá para garantizar que un modelo podrá ser animado correctamente. Puede requerir de más tiempo que técnicas posteriores, pero siempre contamos con la ventaja de que estaremos controlando en todo momento el resultado final de nuestra malla sin necesidad de limpiar el modelo, si llevamos cuidado. [1]

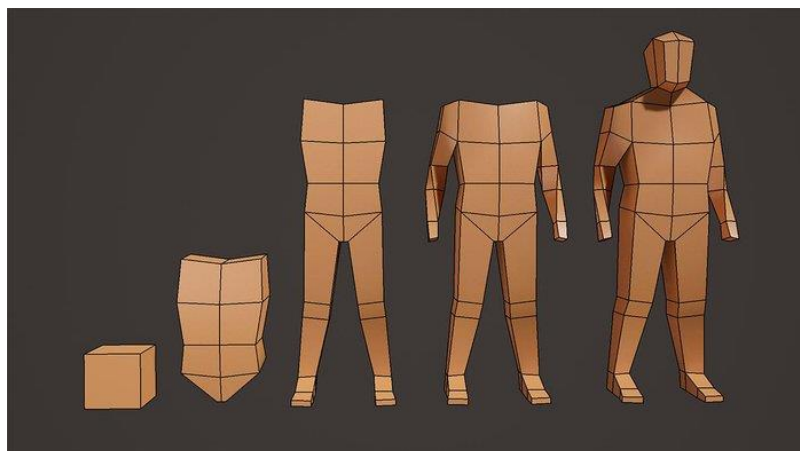


Figura 17. Ejemplo de primeros pasos al modelar con box-modelling.

(Fuente: <https://3dtotal.com/tutorials/t/maya-modeling-body-blocking-jahirul-amin-character-modeling>)

- **Sculpting / Escultura Digital:** Es una técnica en **auge**, cada vez más popular, consiste en “esculpir” literalmente un objeto como si fuera arcilla. Existe software como *ZBrush* especializados en este tipo de técnica, aunque cada vez más se ofrece soporte de este tipo de técnicas en otros programas. Se suele utilizar para modelar personajes porque permite obtener **acabados orgánicos, realistas y muy detallados**. El problema con este tipo de técnicas es que el resultado final es **una malla con una cantidad abismal de polígonos**, que requiere ser limpiada por el modelador en un proceso llamado retopología si se quiere utilizar en aplicaciones en tiempo real o animaciones (existen programas de escultura digital que realizan automáticamente retopología, pero no respetarán el flujo de ejes como nosotros deseamos y tendremos que dedicar bastante tiempo a modificarlo si queremos animar al personaje). En definitiva, la ventaja es que nos ofrece mucho detalle pero requiere bastante tiempo el proceso de limpiado y reestructuración de ejes para aprovechar los modelos en otros medios. [1]
- **Escáner o técnicas de fotogrametría:** Está técnica consiste en hacer uso de los diversos instrumentos que existen hoy en día para escanear un objeto de la vida real y convertirlo en geometría 3D. Este tipo de técnicas suelen requerir un limpiado de geometría después de ser utilizadas de forma similar a la técnica anterior, porque el escáner puede detectar imprecisiones o añadir un exceso de detalle en la superficie escaneada. [1]



Figura 18. Personaje esculpido (Sculpting) en Autodesk Mudbox.

(Fuente: <https://www.autodesk.es/products/mudbox>)

Existe, además, otro detalle muy importante a la hora de modelar personajes en 3D. Se trata de la **forma** en la que se va a modelar el cuerpo: **en forma de T, en forma de A...** Se trata de la forma en la que están **estiradas las extremidades** en el cuerpo cuando lo modelamos.

Realicé varias consultas en la red para saber cuál era la mejor manera de modelar, y aparentemente no está del todo claro cuál es la mejor manera de modelar un personaje para prepararlo para la fase de skinning, rigging y animación. En varios foros de modelado y animación algunas personas defienden el uso de la pose en A o “A-Pose” para modelar [51] [52] [53] [54] pues argumentan que después en la fase de Skinning es mejor tener el modelo en una pose relajada. Buscando fuentes más fiables, encontré una entrevista con Sergi Caballer, quien ha trabajado como “character technical director” y “character modeler” en Disney en proyectos como “Zootrópolis” (2016) y “Vaiana” (2016). En esta entrevista, Sergi Caballer indica que desde el punto de vista del modelado la pose en T o “T-Pose” es más sencilla, aunque puedes con un poco de esfuerzo conseguir un resultado igual de bueno con una A-Pose [55]. También explica que la T-Pose es más sencilla para posicionar los joints, los cuales son elementos fundamentales para el rigging [55]. Sin embargo, indica que desde el punto de vista de la deformación de la malla, la A-Pose probablemente es la forma más eficiente de conseguir una pose neutral, ya que en esta pose el brazo está en su punto medio de movilidad [55].

También encontré una sección en *Animator Island* en la cual se explica que la T-Pose es el estándar de facto, sin embargo, en otra sección explica que "a muchas herramientas 2D y 3D de rigging no les gustan las poses completamente estiradas de brazos y piernas y prefieren una postura un poco relajada. De otra manera no sabrían en qué dirección se pueden torcer" [56]. También indica que algunos artistas de rigging prefieren una pose en la que el personaje parezca que está sentado en una motocicleta [56].

2.3.2. Texturizado

El concepto de “texturizar” un objeto 3D consiste en **dotarlo de propiedades de color y superficie**, introduciendo diferentes detalles sobre la geometría del objeto (colores, arañazos, restos de suciedad y todo tipo de detalles). Habitualmente un objeto con detalles como arañazos o restos de deterioro son mucho más realistas e interesantes de observar que objetos perfectos e impolutos. [1] Existen muchos elementos importantes a tener en cuenta desde el momento en que se desea texturizar un modelo 3D hasta el resultado final, entre ellos: los mapas de coordenadas UV, los materiales o shaders y las imágenes de textura.

El primer elemento a tener en cuenta son los **mapas de coordenadas UV**. Estos elementos son los que nos permiten **obtener imágenes 2D a partir de los modelos 3D**. Como comparación, este proceso consiste en “**desdoblar**” o las caras de un modelo 3D como si estuviéramos descosiendo un peluche o una prenda de ropa y dejando toda la superficie completamente plana encima de una mesa. [1] El objetivo es conseguir que no haya solapes y que el modelo esté lo más liso posible al desdoblarlo. Cada conjunto de polígonos que separemos se llaman sets o “**islas**” de UVs.

Para poder realizar estos mapas de coordenadas UV hacemos uso de funciones integradas dentro del software de edición 3D. Aunque existen algunas funciones que automáticamente generan los mapas UV sin tener que hacer nada más, estos mapas habitualmente presentan errores o no consiguen un resultado que sea apropiado para nuestro objetivo (este tipo de generación automática puede ser útil para objetos simples, pero no para mallas complejas como un personaje). El responsable de obtener los mapas de textura UV puede decidir utilizar estos métodos como punto de partida o hacerlo por completo desde cero, para ello se utilizan las funciones que permiten descoser (cut) y volver a coser (“sew”) ejes para permitir hacer cortes en la geometría (si no usamos estas funciones partes de la geometría que sean cíclicas jamás podrían verse reflejadas en una imagen 2D sin distorsionarse). Si todas las caras de la geometría pueden estirarse perfectamente en dos dimensiones sin distorsionarse o sin cubrirse unas a las otras, tendremos un mapa de texturas sin distorsión. También es importante asegurarse de que todos los tamaños de las caras de la geometría son proporcionales, para ello se utilizan las imágenes conocidas como UV Checker [1], que ayudan a comprobar rápidamente si las caras del mapa de textura UV son proporcionales y todas ocupan un espacio proporcional al espacio que ocupan en el modelo 3D.

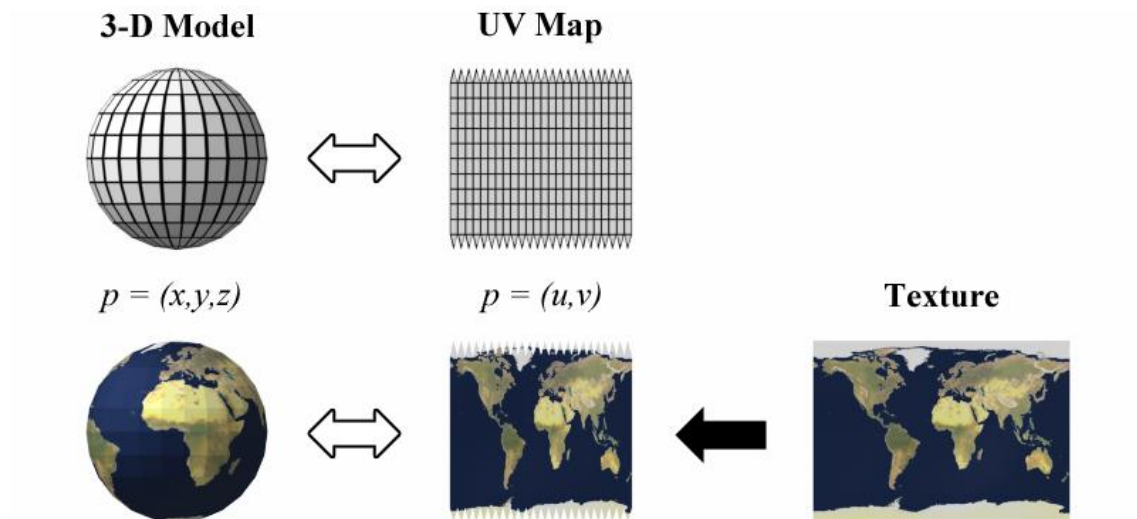


Figura 19. Representación de un modelo 3D junto a su mapa de coordenadas UV y aplicación de una textura sobre el mapa UV para cambiar la apariencia del modelo.

(Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:UVMapping.png>)

Tener los mapas de coordenadas UV no es suficiente, también tenemos que indicarle a los programas de edición 3D **cómo** va a verse nuestro objeto cuando se produzca la imagen final: ¿tendrá reflexión, refracción, será transparente, etcétera...? Para ello utilizamos los **materiales** (también llamados shaders), que nos permiten definir este tipo de propiedades en los objetos, de modo que el programa sepa cómo se tienen que ver determinados objetos en el resultado final. Algunas de las propiedades relacionadas con en este proyecto que podemos configurar por medio de los materiales son las siguientes [1]:

- **Color:** El color que se aplica al objeto, puede ser un color simple o una imagen (llamada “imagen de textura”, que será explicada más adelante).
- **Ambient:** Se refiere a la cantidad de color que se debe aplicar al objeto únicamente por el “ambiente”, es decir, sin necesidad de que se le aplique una luz directamente. Se trata, por así decirlo, del mínimo de iluminación que tendrá el objeto pese a que nada le esté alumbrando, se trata de un parámetro ficticio (no existente en el mundo real) creado únicamente para asegurarse de que el objeto siempre estará mínimamente iluminado.
- **Transparency:** Permite definir cuánta transparencia tendrá el objeto, cuánto podremos ver a través del mismo.

- **Reflectivity:** Permite regular el nivel de reflectividad que tendrá un objeto, cuánto será capaz de reflejar la luz incidente. Se puede definir a través de los llamados mapas de reflectividad (explicados más adelante) o mediante otros métodos.
- **Specular Highlights:** Se trata de áreas que brillan cuando el objeto es iluminado, pero no es algo que exista en la vida real. A diferencia de los reflejos, estas están predefinidas y no hace falta calcularlas en tiempo real.
- **Bump:** Este efecto permite simular superficies sobre una textura, es decir, permite crear efectos visuales para que parezca que una superficie plana tiene elevaciones o hundimientos mediante sombras y puntos de luz. Todo esto permite que tengamos superficies complejas sin necesidad de modificar la geometría.

Además, los programas de edición 3D suelen incluir varios materiales predefinidos con valores establecidos para las propiedades anteriores, por ejemplo, **Flat** devuelve siempre colores planos, **Lambert** tiene propiedades adecuadas para la iluminación estándar de objetos sin ninguna necesidad especial como la madera, **Blinn** tiene propiedades indicadas para objetos con muchos reflejos como el metal, **Phong** es útil para objetos muy brillantes.... [1] Según el software que estemos usando tendremos diferentes materiales predefinidos, pero existen algunos que suelen ser estándar en la mayoría de los programas, como los anteriormente mencionados. Se pueden utilizar directamente este tipo de materiales predefinidos o usarlos como punto de partida para crear uno propio y de este modo ahorraremos tiempo.

El último elemento restante importante en el texturizado son los **mapas de textura o imágenes de textura**. Estos son los archivos que finalmente pueden marcar la diferencia en la forma en la que se ve un objeto 3D, son los mapas de textura los responsables de proporcionar al objeto la información visual que veremos reflejada en la pantalla. Lo importante en el texturizado 3D son los detalles, como se mencionó anteriormente, los objetos que son perfectos son irreales y aburridos, necesitamos los detalles como las pequeñas marcas de suciedad o imperfecciones que ocurren con el paso del tiempo para que un objeto luzca realista y estilizado. [1] Es gracias a los mapas de textura que conseguimos plasmar aquellos detalles que marcan la diferencia.

Los mapas de textura dependen completamente de los mapas de coordenadas UV, puesto a que tendremos que realizar estos mapas de textura acorde a las posiciones que las caras de la geometría ocupan en los mapas de coordenadas UV, es decir, que los mapas UV son nuestra referencia para saber dónde están las caras del modelo y poder crear los mapas de textura sabiendo dónde está cada cosa.

Por un lado están los mapas de textura procedurales, estos se generan matemáticamente y pueden ser útiles en determinadas circunstancias para crear patrones que se repiten infinitamente sin cortes ni pérdidas de calidad, pero debido a su naturaleza procedural no suelen ofrecer mucha precisión a la hora de texturizar un modelo y sus patrones de textura se reparten por el modelo sin permitirnos tener el control total sobre el resultado final. Por otro lado tenemos los mapas de textura de mapa de bits o bitmaps, que son en los que habitualmente pensamos cuando se usa la palabra “texturas”, son imágenes que creamos de cero en programas de edición de imágenes o bien imágenes que descargamos, editamos u obtenemos de otra manera, y pueden tener diferentes resoluciones (por lo que pueden perder calidad si no usamos un tamaño adecuado a nuestro proyecto). Existen diferentes **tipos de texturas** de mapa de bits o bitmaps utilizados, entre otros me gustaría listar los que considero más relevantes [1]:

- **Color map** (mapa de color): Albergan la información de color que se aplicará sobre la superficie.
- **Specular Maps** (mapa especular): Modifica la forma en que la luz especular incide sobre las diferentes partes de la superficie. Útil para añadir imperfecciones.
- **Transparency Maps** (mapa de transparencia): Permite definir cuánta transparencia tendrán las diferentes partes de la superficie (útil para ventanas y otros elementos que deben ser ligeramente transparentes para lucir correctamente).
- **Reflection maps** (mapa de reflejos): Permite definir cuan reflectante deben ser las diferentes partes del modelo. Útil para elementos muy reflectantes como por ejemplo un espejo.
- **Bump map o Normal map** (mapa de normales): Permite definir cómo se generan las sombras de una superficie para simular otras superficies encima de un plano liso sin cambiar la geometría del objeto [98]. Los “bump maps” están en escala de grises, el blanco representa que la geometría se empuja hacia dentro y el negro lo contrario. En otras palabras, permite sombreado realista de una superficie con baches o huecos sin necesidad de renderizar estos baches o huecos [99].

Por otro lado los “normal maps” funcionan igual pero son imágenes RGB (combinaciones de rojo, azul y verde) y son mucho más rápidas para realizar cálculos en tiempo real.

- **Displacement maps** (mapa de desplazamiento): Son similares a los mapas de normales o “normal maps”, pero en los mapas de desplazamiento la geometría sí que es modificada (desplazada) cuando el objeto se computa.



Figura 20. Diferencias entre el uso de un mapas de normales y uno de desplazamiento.

(Fuente: <https://joannelaiddlow.wordpress.com/2015/11/02/bump-normal-and-displacement-maps/>)

2.3.3. Rigging y Skinning

El rigging es un elemento que está completamente ligado a la animación. El rigging consiste en la **creación de un sistema que nos permita animar un objeto**, un sistema que nos de control para poder mover o deformar una geometría. [1]

Es especialmente importante realizar este trabajo de Rigging correctamente ya que es muy posible que el creador del rigging y la persona que va a utilizarlo no sean la misma, por lo que el sistema debería ser lo más intuitivo y funcional posible. Debido a que el rigging y la animación están tan unidos, es muy importante tener en cuenta cómo se anima un personaje a la hora de crear este tipo de sistemas.

El primer paso es la creación de un **esqueleto** para el modelo. Este esqueleto 3D nos servirá para únicamente tener que manipularlo a él en lugar de tener que mover todos los vértices del modelo 3D cada vez que quisiéramos mover al personaje, algo que llevaría muchísimo tiempo.

Este esqueleto está compuesto de **huesos** o, como habitualmente se los conoce, puntos o **joints**. Los huesos o joints están unidos mediante una jerarquía (un joint puede ser padre y/o hijo de otros joint). Los objetos unidos mediante esta relación padre-hijo (también llamada Parent Constrain) influyen los unos sobre los otros: si movemos, rotamos o escalamos al padre, el hijo realizará también esta operación. En cambio, los joints hijos no influyen a su padre (Por ejemplo, si yo giro el brazo se gira mi mano, pero si giro mi mano no se gira mi brazo). Podemos utilizar

este esqueleto para hacer rigging de cualquier cosa, no necesariamente sólo de personajes, todo depende de cómo usemos los huesos o joint y consigamos poner un control adecuado para mover el modelo. [1]

Cada hueso o joint puede ser movido o rotado por separado, permitiendo crear todo tipo de posturas realizando combinaciones con varios joint. Opcionalmente se puede limitar la máxima rotación de un joint o limitarlo sólo a algunos ejes de coordenadas (X,Y,Z) si se desea prevenir que el modelo pudiera llegar a adoptar posturas no realistas.

Existen, además, dos maneras diferentes de mover los joints o huesos de un esqueleto:

- ***Cinemática directa:*** La manera clásica, sigue las reglas normales de la jerarquía explicadas anteriormente, **si movemos un joint padre, sus hijos se moverán junto a él.** Es decir, los hijos son afectados por los movimientos del padre y el padre no se ve afectado por los movimientos del hijo. La manera de animar es similar a cómo moveríamos las extremidades de una figura de acción para dejarla en la pose deseada [130]. A la hora de animar, animaremos primero los joints padres y luego iremos hacia los hijos. [106]
- ***Cinemática inversa:*** Se trata de mover los joint en el orden inverso al de su jerarquía. **Si movemos un joint hijo, sus padres se ajustarán automáticamente de forma que el hijo pueda quedarse en el punto nuevo al que se está moviendo.** Si movemos un padre para realizar algún reajuste, sus hijos no se verán afectados. Es el método contrario al anterior y puede ahorrar tiempo en algunas situaciones, aunque puede ser difícil realizar ajustes precisos. [130]

Pero tener huesos y un esqueleto no es suficiente para conseguir animar una geometría, debemos **unir el esqueleto** con la geometría de modo que al mover los diferentes huesos o joint, estos muevan una determinada zona de la geometría (por ejemplo, esperamos que si un joint está situado en la mano mueva toda la mano). Para ello se realiza una técnica llamada **Skinning** [1]. El Skinning consiste en dar a los diferentes vértices de la geometría un rango de influencia con cada joint. Esta influencia no tiene por qué ser total o nula, pueden existir influencias en un gran espectro, de este modo, podemos establecer rangos del 0% al 100% para determinar cuánto debe moverse un vértice cuando se mueve un joint, de modo que podamos hacer una progresión natural de qué vértices deberían moverse más con un joint que con otro. Esto quiere decir que, si un joint tiene influencia máxima sobre un polígono y muevo ese joint, el polígono se moverá completamente, pero si solo tiene asignada una poca influencia (20% por ejemplo),

sólo se moverá un poco y no totalmente. La forma en que se aplica esta técnica varía entre cada software.

El Rigging también está estrechamente relacionado con la **captura de movimiento**, debido a que los datos de movimiento obtenidos con este método habitualmente se guardan en los joints de un esqueleto y los datos de movimiento obtenidos pueden ser traspasados a otros joint de otros esqueletos.

El último concepto importante del rigging es el proceso de creación de **controladores**. Citando a la publicación *“Physical Rigging Procedures Based on Character Type and Design in 3D Animation”* de Mohd Rosli Arshad, Kim Hae Yoon, Ahmad Azaini Abdul Manaf y Muhammad Azmin Mohamed Ghazali [57]; crear **controles para la animación** del personaje es *“obligatorio para el rigging de un personaje 3D. Antes de que el personaje pueda ser animado, el artista de rigging necesita crear un icono visual en el joint para simplificar el proceso de animación”* [57].

Los **controladores** se tratan de elementos visuales en la escena que son los **intermediarios** que utiliza un **animador** para no manipular un joint directamente. Es similar a cómo mueve un títere sus **marionetas**: los controladores mueven a los joints, y estos a su vez tirarán de la parte de la geometría que les corresponde. Manipular un joint directamente puede ocasionar problemas e incompatibilidades, y además es mucho menos visual que un controlador creado específicamente para ser utilizado por los animadores.

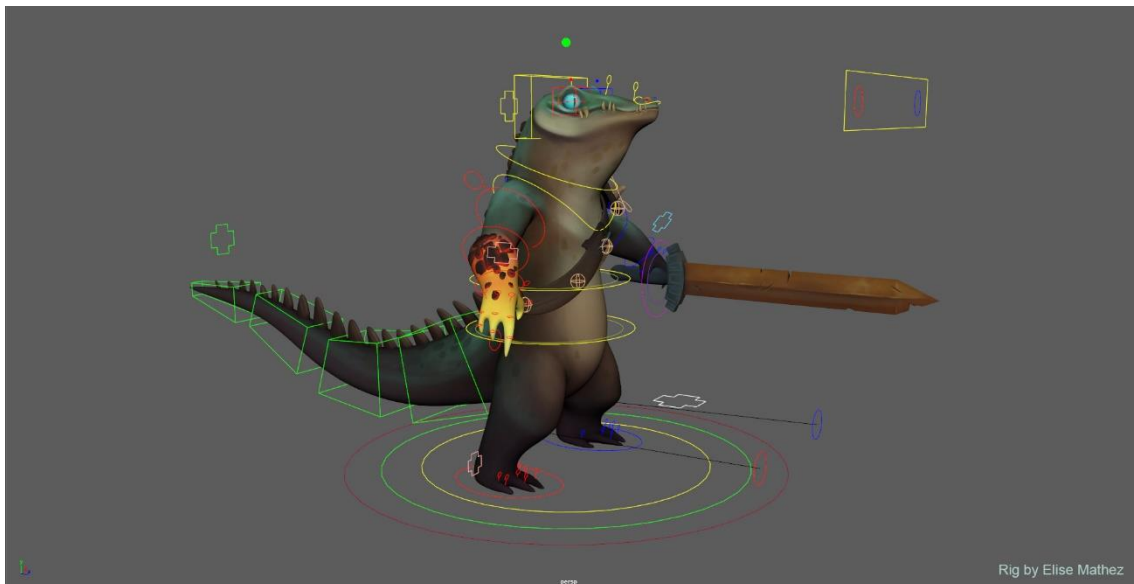


Figura 21. Personaje con controladores creados para el rigging (Concept art de Alex Braum, modelo creado por Olenka Denis y rigging realizado por Elise Mathez)

(Fuente: <https://www.artstation.com/artwork/WvWLQ>)

2.3.4. Blend shapes

Es una técnica de **deformación de la geometría que nos permite realizar animaciones** [1]. En primer lugar, se crea un duplicado de una determinada geometría y se modifica. De esta manera, tendremos una geometría original y otra modificada a nuestro gusto. Una vez tengamos estas dos geometrías, la técnica de blendshape **permite a la geometría original variar entre la geometría original y la modificada**.

Esta técnica no sólo permite a la geometría original quedarse en su estado normal o en el modificado, sino que puede quedarse en un punto medio, permitiendo conseguir nuevas geometrías y realizar animaciones en las que se vea cómo se está transformando en otra geometría.

Las blendshape pueden resultar especialmente útiles para crear **expresiones faciales**. Es posible además **combinar varias blendshapes**, permitiendo todo tipo de combinaciones muy útiles (se puede crear una blend shape con el ceño fruncido, otra con la boca abierta enseñando los dientes y combinar ambas para crear una expresión de enfado, la gracia está en que ambas pueden ser reutilizadas para otras combinaciones). Estas expresiones faciales pueden combinarse con el Rigging explicado anteriormente para conseguir una combinación de cuerpo con movimiento y expresiones faciales permitiendo un control total sobre la postura de un personaje.

2.3.5. Captura de movimiento

La captura de movimiento es la técnica que nos permite **“grabar” o “capturar” el movimiento de una persona humana para aplicarlo en un personaje creado en tres dimensiones**. Puede utilizarse en todo tipo de industrias (películas, videojuegos, medicina, entrenamiento militar...). Puede resultar muy útil cuando se desea, por ejemplo, grabar animaciones con actores reales y poder utilizar la asistencia de un director. [1]

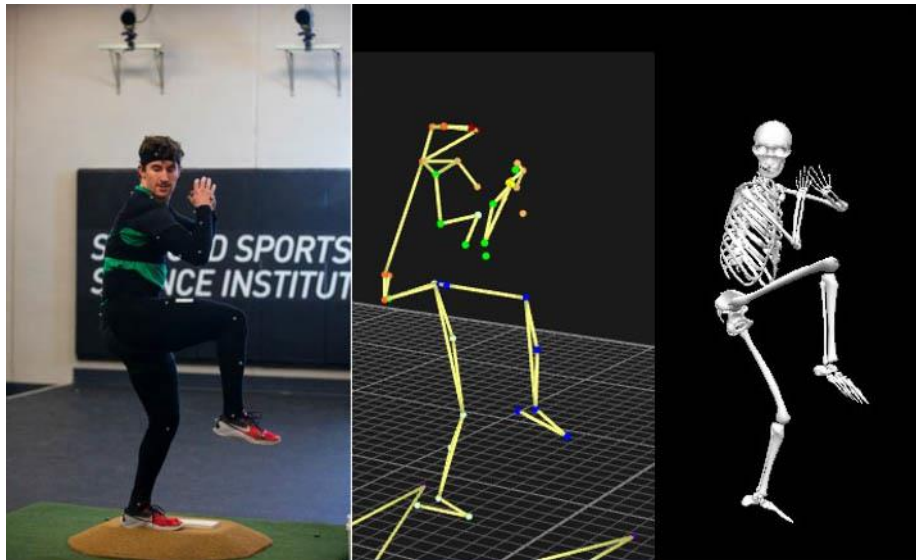


Figura 22. Tecnología de captura de movimiento siendo aplicada a un esqueleto con joints y al modelo 3D de un esqueleto.

(Fuente: <https://news.sanfordhealth.org/research/sf-lisa-macfadden-sports-research/>)

Las formas en las que se puede capturar este movimiento son varias: existen tanto sistemas con marcadores (donde la persona que graba el movimiento debe ponerse un traje con marcadores especiales) como sistemas sin estos marcadores que son capaces de reconocer el cuerpo de la persona sin llevar un traje especial pero no suelen ser tan precisos (como por ejemplo el dispositivo Kinect de Xbox) [1].

Sin embargo, utilizar únicamente animación basada en datos de captura de movimiento usualmente resulta en un movimiento demasiado realista para el resultado esperado, careciendo de expresividad y exageración. También es muy posible que haya habido errores en la captura de movimiento creados por el sistema. Es por esto último que es muy usual que las animaciones importadas con captura de movimiento sean luego retocadas por el animador para poder aprovechar al máximo los datos pero conseguir el resultado esperado [1].

2.4. Pelaje VFX / Fur Grooming

Esta técnica posee múltiples nombres, pero en definitiva se trata de añadir efectos especiales para dotar de una cobertura de pelaje a un personaje, esto es especialmente relevante para animales, monstruos y animales antropomórficos porque suelen estar recubiertos de pelo por todo el cuerpo. Estudios como Disney Animation Studios implementan pelaje en los personajes mediante instanciadores de geometría como iGroom o XGen [58].

Cuando surgió la necesidad de utilizar pelaje para algunos personajes de la película “Monstruos S.A.” (2001) de Pixar, se creó un software llamado Fizz para que este se ocupara de todos los cálculos que debían realizarse sobre el pelaje mientras los animadores se centraban en el movimiento de los personajes (Fizz también hacía cálculos sobre tejidos, por ejemplo) [59].



Figura 23. Fotograma de la película Monsters INC./Monstruos S.A. (2001)

©Walt Disney Pictures ©Pixar Animation Studios.

(Fuente: <https://www.imdb.com/title/tt0198781/>)

A medida que pasó el tiempo, las funcionalidades para incluir pelaje en los personajes han sido añadidas en software que todo el mundo puede utilizar en su ordenador, aunque los estudios grandes de animación probablemente utilizarán su propio software privado.

2.5. Ejemplo de personaje de animación 3D

Como apartado final del marco teórico, consideré importante incluir un ejemplo de personaje de animación 3D similar a lo que pretendo conseguir en este trabajo, pues se trata de un animal antropomórfico. El personaje en cuestión es “Warrior Leopard” del artista François Boquet (Lead 3D Character Sculptor) [60]. Contacté con él y me concedió permiso para utilizar su personaje en este apartado.



Figura 24. Modelo 3D de “Warrior Leopard”, creado por François Boquet.

(Fuente: <https://www.artstation.com/artwork/rRZ5oG>)

El personaje pretendía emular el estilo de la película *Zootrópolis* (2016) mencionada anteriormente. Para ello, se modeló un personaje 3D respetando el flujo de ejes de modo que la anatomía estuviera bien construida y se pudiera realizar animación facial sin problemas. Después, se texturizó el modelo. Tras el texturizado, se desarrolló el proceso de rigging para hacer posar al personaje. También se dotó al personaje de animaciones faciales, aunque desconozco si fue mediante rigging o mediante blendshapes. Para el render final el personaje cuenta con pelaje, el cual dota de más realismo al personaje.

Cuando vi este trabajo, me di cuenta de que consiguió un resultado muy similar a aquello que yo pretendía conseguir, así que me pareció una buena fuente de inspiración y referencia.

Algo que me gustaría añadir sobre este trabajo es que, en el render de la Figura 26. Render final de “Warrior Leopard”, personaje creado por François Boquet y render realizado por Thales Simonato., da la impresión de que se ha hecho uso de un **HDRI** para el fondo. En 3D, el HDRI es una fotografía panorámica de alta calidad que puede visualizarse desde todos los ángulos [61]. Esto la hace perfecta para colocarla como fondo de un escenario. Este tipo de imagen contiene una cantidad de datos de la iluminación mayor que el resto de las imágenes normales, datos incluso imperceptibles al ojo humano [61], y podemos utilizar estos datos para iluminar automáticamente una escena. Particularmente, se almacenan más datos sobre el rango

dinámico entre las zonas iluminadas y oscuras de la escena (de ahí proviene su nombre, “imagen de alto rango dinámico”) [62].



Figura 25. Expresiones faciales de “Warrior Leopard”, creado por François Boquet.

Fuente: (<https://www.artstation.com/artwork/rRZ5oG>)



Figura 26. Render final de “Warrior Leopard”, personaje creado por François Boquet y render realizado por Thales Simonato.

Fuente: (<https://www.artstation.com/artwork/rRZ5oG> y <https://www.artstation.com/artwork/Qzx63x>)

3. Proyectos previos

En cursos anteriores de Ingeniería Multimedia, se han realizado otros **proyectos** relacionados con el modelado y animación 3D. En el segundo año se cursó la asignatura “*Modelado y Animación por computador*” donde se realizaron varios proyectos relativos a la animación 3D. En tercer curso parte de la asignatura “*Gráficos por computador*” consiste en realizar modelado y texturizado en 3D para luego importar dichos modelos con OpenGL. En cuarto curso realizamos un videojuego completo en C++ programando nuestro propio motor gráfico. Cuarto curso nos permitió participar en el “*Aprendizaje basado en proyectos*” mediante el cual todas las asignaturas están interconectadas para formar el producto final. Cursé el itinerario de “*Creación y Entretenimiento Digital*”, en el cual había 2 asignaturas que permitían realizar proyectos relacionados con el 3D: “*Realidad Virtual*” y “*Postproducción Digital*”.

Aplicaré la experiencia ganada en trabajos anteriores y aplicarla a este proyecto. El objetivo de este apartado es dar a conocer la experiencia previa que tengo en esta área.

3.1. Modelado de un edificio de juguete

Mi introducción al mundo del modelado 3D. El objetivo era modelar una serie de piezas “LEGO” para luego agruparlas y formar estructuras más complejas siguiendo el plano de un edificio “LEGO” existente. Me sirvió para observar referencias e intentar replicarlas, así como las bases del modelado.



Figura 27. Render en 3D Studio Max de mi primer proyecto: un edificio de “LEGO”.

(Fuente: Elaboración propia)

3.2. Modelado de la planta de un centro comercial

En este proyecto, se nos pedía replicar una planta de un centro comercial a partir de una referencia, pero dotando al mismo de una estética diferente a la referencia. Para este trabajo, se intentaba conseguir el estilo de la película “Escuadrón Suicida” utilizando tonos de color similares a los utilizados en los carteles promocionales de la película. Me sirvió para aprender cómo texturizar elementos y las distintas propiedades de los materiales.



Figura 28. Render en 3D Studio Max: centro comercial con una temática neon.

(Fuente: Elaboración propia)

3.3. Animación con un personaje articulado – Parodia de la animación del logo de “PIXAR”

En este proyecto se realizó un modelado, rigging y animación sencilla de un personaje 3D. El personaje era un robot articulado, cuyas extremidades estaban unidas al resto del cuerpo mediante esferas. En este trabajo, además, se debía animar al personaje corriendo y recreando una animación similar a la pequeña animación introductoria similar a la cabecera de las películas de “PIXAR”, pero con modificaciones. Me sirvió para comprender los fundamentos del rigging y la animación.



Figura 29. Frame de mi animación parodiando el logo de Pixar con un robot. Realizado en 3D Studio Max.

(Fuente: Elaboración propia, <https://www.youtube.com/watch?v=-h0Q32dRGro>)

3.4. Animación con naves espaciales inspirada en "R-TYPE"

En este proyecto, se realizó un pequeño cortometraje haciendo promoción a un videojuego ficticio basado en "R-TYPE", por lo que sabíamos que teníamos que modelar una nave espacial inspirada en las utilizadas por los enemigos de esta saga, al igual que las naves enemigas.



Figura 30. Frame de mi animación con naves espaciales basada en el videojuego R-TYPE.

(Fuente: Elaboración propia, <https://www.youtube.com/watch?v=qeBeTmMZPEs>)

3.5. Brainsteel: Machine Madness

Este videojuego se desarrolló durante el "Aprendizaje basado en proyectos" de Ingeniería Multimedia. Para el mismo, hubo que crear una gran cantidad de modelos que pudiesen ser utilizados en el juego. Esto incluía escenarios, elementos del escenario y personajes. Mi principal función fue el modelado de armamento, ítems con los que interactuar y algunos personajes.

Para modelar, utilizamos las referencias que el artista/diseñador de nuestro grupo creó para el videojuego. A partir de dichas referencias, éramos capaces de recrear los objetos en 3D. Los personajes de este juego estaban completamente riggeados en Maya, aunque estos personajes eran robots, lo que significa que el rigging de los mismos era extremadamente sencillo.

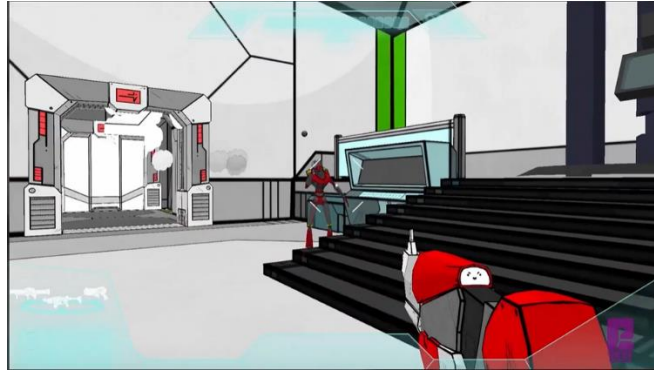


Figura 31. Captura del videojuego "Brainsteel: Machine Madness".

(Fuente: Elaboración propia, <https://www.youtube.com/watch?v=rl-r26d966E>)



Figura 32. Render de un personaje modelado y riggeado por mí en Brainsteel: Machine Madness.

(Fuente: Elaboración propia.)

Este proyecto me sirvió como aprendizaje sobre cómo gestionar proyectos grandes. Vídeos relativos al proyecto se pueden encontrar en mi canal de YouTube "*SolerMultimedia*" y el videojuego se puede descargar desde la página de "*Aprendizaje basado en proyectos*" de la Universidad de Alicante para Windows y Linux.

4. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es realizar y documentar el desarrollo de principio a fin dos personajes en 3D. Dicho de otra manera, convertir el boceto de un personaje 2D en un personaje completamente animado en 3D que pueda formar parte de un proyecto multimedia. En esencia, “dar vida a un personaje”. Para conseguir esto, se tendrá que trabajar en todas las etapas de desarrollo en las que un equipo profesional trabaja habitualmente.

Debido a que los personajes a desarrollar no son completamente seres humanos, el segundo objetivo principal es descubrir y ser capaz de implementar las necesidades especiales que se requieren para desarrollar animales antropomórficos en tres dimensiones.

Por lo tanto, mis objetivos son los siguientes:

- Desarrollar dos personajes en 3D tomando como referencia unos diseños previos, realizando las modificaciones en el diseño que se consideren necesarias para garantizar un buen resultado. Este desarrollo debe incluir, como mínimo, lo siguiente: modelado, texturizado e implementación de sistemas para animar a los personajes.
- Identificar y hacer frente a las necesidades o problemas particulares que se presenten en las diferentes fases del proyecto al desarrollar animales antropomórficos (debido a las características de este tipo de personajes).
- Implementar pelaje para los personajes utilizando XGen.
- Dividir el desarrollo del proyecto en las fases utilizadas habitualmente por las industrias que trabajan con personajes de animación por computador 3D (concretamente las fases relacionadas con la creación de personajes) con el fin de desarrollar los mismos de forma similar a estas industrias y familiarizarse con su forma de trabajar.
- Mencionar en el cuerpo del trabajo las funciones y herramientas más importantes que se han utilizado en cada fase del desarrollo (modelado, texturizado, etc.) de modo que otras personas puedan saber qué funciones utilizar para conseguir resultados similares.

5. Gestión de riesgos

El desarrollo de personajes de animación es un proyecto grande en el que pueden ocurrir una gran variedad de problemas, especialmente si no se posee o se tiene poca experiencia previa con este campo. Por tanto, al igual que en cualquier otro proyecto grande, es importante dedicar parte del tiempo antes de la producción a elaborar un documento detallado de gestión de riesgos.

La estrategia seguida para este proyecto sigue la misma idea que la evaluación de riesgos utilizada en la metodología de “aprendizaje basado en proyectos” o ABP de Ingeniería Multimedia. Esta estrategia consiste en identificar y evaluar el mayor número de las posibles adversidades que se pueden dar en el desarrollo de un proyecto y estudiar métodos que permitan evitar o atenuar consecuencias negativas de estas sobre el proyecto.

Tener un **documento** específico dedicado a esta cuestión permite la fácil consulta de riesgos y medidas de monitorización de estos, así como la posible revisión de este (aunque lo ideal es que este documento esté lo más completo posible al principio del desarrollo de un proyecto). En lugar de redactar un documento aparte, la gestión de riesgos se dividirá en cuatro apartados del apéndice de esta memoria.

5.1. Identificación de riesgos

El proceso de **identificación** de riesgos potenciales o “clave” es lo más importante para realizar este tipo de análisis ya que si algún riesgo importante queda sin identificar puede suponer un grave problema para el proyecto [63].

Para poder identificar estos riesgos, se han dividido en diferentes categorías de forma similar a como se realizaron en la metodología “aprendizaje basado en proyectos” de Ingeniería Multimedia:

- **Organización:** Problemas relativos a una mala gestión del tiempo o a una falta de planificación (aparición de tareas no planeadas pero necesarias, falta de medidas contra un riesgo en específico...).
- **Personal:** Problemas relacionados con las personas involucradas al proyecto, en este caso el alumno que lo desarrolla (desmotivación, hospitalización...).

- **Tecnología:** Problemas relativos al hardware, red o almacenamiento (corrupción de archivos, conexión de red insuficiente...).
- **Herramientas:** Problemas específicos encontrados en uno o varios programas de software (problemas para importar archivos al programa de modelado...).
- **Estimación:** Problemas que tienen que ver con la planificación temporal de las tareas o retrasos en la realización de estas (infraestimaciones, sobreestimaciones...).
- **Otros:** Problemas que no se pueden englobar en ninguna de las categorías anteriores (feedback negativo, catástrofes naturales...).

Para identificar todos estos riesgos, se ha observado los problemas encontrados en proyectos similares realizados durante la carrera y examinado con detenimiento cada uno de los pasos que se deben tomar para crear un personaje en 3D y de este modo ha sido posible localizar potenciales riesgos que se ven reflejados en el documento de gestión de riesgos. Esta parte del documento se puede consultar en el apartado Apéndice II – Tabla de identificación de riesgos.

5.2. Análisis y evaluación de riesgos

Es importante tener en cuenta a la hora de **analizar y evaluar** los riesgos en un proyecto que no todos los riesgos tienen la misma probabilidad de ocurrir y que las consecuencias de cada uno de estos riesgos son diferentes. Citando a la CA ANZ, “cada incertidumbre debe ser medida en dos dimensiones - la probabilidad del riesgo ocurriendo y el grado de las consecuencias si este mismo ocurre” [64].

La probabilidad y el grado atribuido a cada riesgo ha sido realizados a partir de mis experiencias pasadas y el desconocimiento de determinadas tecnologías (gran parte de este trabajo son tecnologías y herramientas que no he usado nunca, y esto son riesgos que deben ser considerados). Esta parte del documento se puede consultar en el apartado

5.3. Tratamiento de riesgos

Para el **tratamiento** de riesgos se ha decidido utilizar la metodología utilizada en el “aprendizaje basado en proyectos” o ABP de Ingeniería Multimedia. En esta metodología, para cada riesgo establecemos las siguientes estrategias de prevención y tratamiento:

- **Prevención:** En este apartado incluyo acciones a realizar para evitar que este riesgo ocurra. Las estrategias de evitación o prevención sirven para “minimizar la probabilidad de que el riesgo se presente” [65].
- **Minimización:** Se trata de las estrategias a realizar cuando un riesgo ya ha ocurrido con el fin de disminuir los daños [65] [66]. A las medidas que deben tomarse cuando ocurre un riesgo (labores, recursos, actuaciones...) se les llama **planes de contingencia**.

Esta parte de documento se puede consultar en el apartado Apéndice IV – Tabla de planificación contra los riesgos.

5.4. Monitorización de riesgos

Es una parte tan importante de la gestión de riesgos como las anteriores. Nos ayuda a “**identificar riesgos emergentes**” entre otras muchas cosas [68].

Por ello, junto a cada uno de los tipos de riesgos se han añadido una serie de **potenciales identificadores** de peligro de que se produzca un nuevo riesgo. Es importante tener en cuenta estos identificadores durante el desarrollo para poder valorar si estamos ante situaciones que pueden hacer aparecer nuevos riesgos. En lugar de realizar identificadores para cada uno de los riesgos se ha realizado por agrupaciones de riesgos, es decir, solo una serie de identificadores para todos los riesgos de una determinada categoría, tal y como se realizó en la monitorización del “aprendizaje basado en proyectos” realizado durante la carrera.

Esta parte de documento se puede consultar en el apartado Apéndice V – Tabla de monitorización de riesgos.

6. Metodología y Planificación

Para el desarrollo de este trabajo se seguirá una **metodología** de desarrollo inspirada en la utilizada por estudios profesionales que trabajen con animación 3D. Basándonos en esta forma de desarrollar un proyecto, dividiremos el proyecto en una serie de fases específicas. En este apartado se detallará cuáles son estas **fases de desarrollo** que van a seguirse en este proyecto y el **software** a utilizar.

6.1. División del proyecto en fases (pipeline de la animación por computador)

En animación existe el “**pipeline**” o **tubería de producción**. El pipeline es uno de los conceptos más importantes de la industria, ya que indica una serie de pautas y fases a seguir en producciones que contengan desarrollo 3D. Andy Beane define el pipeline de producción como “un grupo de personas, hardware y software alineados para trabajar en un orden secuencial y específico para crear una animación 3D o un elemento específico” en el capítulo 2 de su libro *3D Animation Essentials* [1], que ha sido una gran fuente de información para el desarrollo de este trabajo. Por tanto, podemos utilizar este pipeline como orientación para saber qué pasos se suelen seguir a la hora de crear personajes 3D para un proyecto.

Independientemente del tipo de proyecto, el pipeline de la animación cuenta con 3 fases fundamentales:

- **Preproducción:** Esta es la fase de planificación. Comprende la investigación y los primeros pasos del proyecto. En esta fase se definen las ideas e historias que se utilizarán en el proyecto. También se crean los diseños y guiones necesarios para el proyecto [1]. En relación con el desarrollo de personajes destacamos los siguientes pasos:
 - **Diseño:** No importa en qué medio se haga (papel, digital...), pero en esta etapa se suele crear el diseño final de un personaje [1], y este diseño se puede usar para asistir a las etapas de desarrollo 3D, ya que servirán como referencia al modelador, al responsable de texturizar, etc. El diseño de un personaje es la referencia fundamental que tienen el resto de los artistas para trabajar en el personaje.

- **Producción:** Esta es la fase de creación. Es la que conlleva más tiempo y en la cual se crean todos los elementos visuales que acabaremos viendo en el proyecto [1] (modelos, animaciones, texturas...). Con relación al desarrollo de personajes 3D destacamos los siguientes pasos:
 - **Modelado:** Desarrollo de la malla 3D para representar a los personajes definidos anteriormente. Se puede consultar más información sobre los conceptos relacionados con esta fase en el estado del arte, apartado 2.3.1. Modelado.
 - **Texturizado:** Creación de texturas, materiales y elementos visuales para determinar cómo va a verse el personaje 3D. Se puede consultar más información sobre los conceptos relacionados con esta fase en el estado del arte, apartado 2.3.2. Texturizado.
 - **Rigging:** Creación de sistemas que permitan a un animador mover las diferentes partes de la geometría 3D. Se puede consultar más información sobre los conceptos relacionados con esta fase en el estado del arte, apartado 2.3.3. Rigging y Skinning.
 - **Animación:** Hacer uso de los controles creados en el sistema de rigging para mover a los personajes o hacer que adopten distintas posturas.
 - **Efectos especiales (VFX):** Se pueden añadir efectos especiales animados al personaje haciendo uso, por ejemplo, de sistemas de partículas. Esto puede incluir elementos como ropa, pelo...
 - **Iluminación / Renderizado:** Se pueden añadir luces a la escena si se desea realizar un renderizado del personaje.
- **Postproducción:** Fase de finalización del proyecto. Esta etapa es tratada de forma diferente en distintas industrias, algunas dedicando mucho tiempo a refinar con varias técnicas el producto final para que sea lo más atractivo posible [1].

Este trabajo será realizado siguiendo estas fases de desarrollo, particularmente las que he mencionado que son específicamente las relacionadas con el desarrollo de personajes en 3D, estando estas localizadas en las fases de preproducción y producción, poniendo especial énfasis en las fases de **modelado, texturizado y rigging**, las cuales eran el objetivo principal de este trabajo.

6.2. Estimación / Planificación temporal

Realizar una **planificación temporal** en un proyecto de estas características es algo muy importante para acabar un trabajo con suficiente tiempo. Para este trabajo, se ha decidido planificar el tiempo utilizando una serie de iteraciones de 3 semanas de duración.

Los periodos o iteraciones de 3 semanas son los que indicarán el margen de tiempo mediante el cual se dispone para realizar unas tareas u otras. El cumplimiento de estos plazos de tiempo me permite saber si estoy cumpliendo el plazo esperado correctamente. En el caso de que cumplamos los plazos antes de lo esperado o en el caso de que estos plazos no hayan podido ser completados a tiempo, se deberá recurrir al documento de gestión de riesgos, en el cual hemos documentado los planes de contingencia y minimización a realizar cuando se da este tipo de riesgo.

La mayoría de las tareas a seguir a la hora de construir personajes no se pueden intercambiar (como se describe en el apartado 6.1 División del proyecto en fases), pero hay otras que técnicamente pueden ser trabajadas en paralelo (como el texturizado y el rigging), pero en cualquier caso las he puesto todas en un punto fijo de la planificación pues me pareció conveniente establecer un orden orientativo para completar tareas, pues la idea es ceñirse a esta tabla temporal para garantizar que se completa el proyecto con las funcionalidades necesarias.

En esta tabla no se reflejan las tareas relacionadas con completar la memoria debido a que es algo que está siendo actualizado constantemente cada vez que se implementa algo nuevo en el desarrollo y después de la investigación inicial. Algunos elementos, como el diseño de los personajes, pudieron ser aprovechados de un proyecto anterior (como se explica en el apartado

Diseño) y esto sirvió para ahorrar tiempo.

Tabla 1. Planificación temporal del proyecto

Contenidos	Duración estimada	Fecha límite estimada
Descarga de materiales para realizar la memoria. Estudio sobre la metodología a utilizar, estado del arte y proyectos similares. Definir la planificación temporal.	3 Semanas	4 de Octubre
Definir el software adecuado a utilizar en el proyecto.	3 Semanas	25 de Octubre
Instalar todo el software necesario. Redactar el documento de gestión de riesgos. Modelado de personajes	3 Semanas	15 de Noviembre
Modelado de personajes	3 Semanas	6 de Diciembre
Modelado de personajes Creación de mapas de textura UV.	3 Semanas	27 de Diciembre
Texturizado de personajes	3 Semanas	17 de Enero
Texturizado de personajes	3 Semanas	7 de Febrero
Rigging de personajes: Crear el esqueleto y unirlo con la geometría.	3 Semanas	28 de Febrero
Rigging de personajes: Skinning (asignar pesos a la geometría adecuada para cada hueso).	3 Semanas	21 de Marzo
Rigging: Creación y configuración de controladores de cinemática directa. Rigging: Creación y configuración de controladores de cinemática inversa.	3 Semanas	11 de Abril
Implementar un IK / FK Switch para el Rigging. Blendshapes para animación facial.	3 Semanas	2 de Mayo
Objetivos complementarios: Intentar hacer el esqueleto compatible con datos de captura de movimiento.	3 Semanas	23 de Mayo
Añadir pelaje a los personajes Crear imágenes finales (renders) para la memoria. Finalizar la memoria.		Fecha de entrega

Este no es un proyecto de desarrollo de software similar a los realizados en la carrera, se trata de un proyecto extenso de un ámbito más artístico donde no puedo adelantar fases del desarrollo ni puedo intentar tener un producto acabado rápido para ir mejorándolo poco a poco, en el desarrollo de un personaje 3D no puedo volver de forma simple a la fase de modelado una vez he empezado la fase de rigging sin perder trabajo y tiempo en el proceso, por ejemplo.

Mi forma de trabajar ha consistido en **trabajar por orden y orientándome en las fechas límite** definidas en la planificación para finalizar los diferentes apartados de mi proyecto, completándolos de forma ordenada tal y como se hace en el pipeline de la animación 3D. Ha habido alguna ocasión (por circunstancias personales o laborales) donde una tarea no se ha completado a tiempo al no cumplir con la fecha límite estimada, para estos casos utilicé mi documento de gestión de riesgos para mitigar y compensar los efectos negativos que esto ha tenido en mi proyecto y encontrar la manera de compensar el desajuste.

6.3. Herramientas utilizadas



Figura 33. Logotipo de Autodesk Maya

(Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Logo_of_Maya.png)

Se trata de un “**software de animación por ordenador, modelado, simulación y renderización en 3D**”, tal y como se indica en la página oficial de *Autodesk* [69]. Nos sirve para crear modelados y animaciones profesionales en 3 dimensiones, las cuales pueden ser utilizadas en multitud de sectores: videojuegos, películas animadas, efectos especiales... [70]

Surgió de la combinación del código de 3 softwares diferentes: *Wavefront's The Advanced Visualizer* (paquete de software gráfico 3D [72]), *Thomson Digital Image Explore* (software de animación 3D con sede en París [73]) y *Alias' Power Animator* (suite de modelado, animación y efectos especiales [74]) [71]. El desarrollo de Maya vino drásticamente influenciado por la película *Dinosaurio* de *Disney*, la cual se estrenó en el año 2000 [75]. Disney trabajó codo con codo con el desarrollo de Maya para asegurarse de que el programa cumpliese los requerimientos necesarios y se adecuara a la forma de trabajar (entre otras cosas se requería una amigable interfaz de usuario) [76]. Este desarrollo y otros futuros (como la inclusión del

“*mental ray*” [76]) contribuyeron a que *Maya* se utilizase muy frecuentemente hasta día de hoy [70], habiendo sido utilizado en multitud de producciones nominadas a *premios Óscar* [77].

En mi proyecto, se utilizará para el modelado de los personajes, rigging, skinning, animación, composición de la escena, renderizado... Durante la carrera utilicé varios programas de modelado (especialmente Blender y 3D Studio Max), pero decidí utilizar Maya en este trabajo para familiarizarme con el software, pues tenía curiosidad por aprender a usarlo y además es muy utilizado en la industria.

También se utilizarán las funcionalidades de XGen Interactivo incluidos en Maya para implementar el pelaje VFX (fur grooming), se trata de un instanciador de geometría que permite implementar pelaje en los personajes [78] [79].

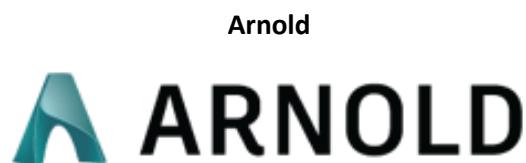


Figura 34. Logotipo de Arnold

(Fuente:https://docs.arnoldrenderer.com/s/es_ES/5995/0127276b0169dd26a3e4bad98655f37c1a27ef0f306/_/images/logo/confluence-logo.png)

Arnold es un motor de renderizado basado en la tecnología ray tracing de Montecarlo (Path Tracing). Es utilizado en multitud de estudios actualmente. Viene incluido como motor de renderizado en los software de *Autodesk Maya* y *3D Studio Max*, aunque se puede incorporar como *plug-in* a otros programas como *Houdini* o *Cinema 4D*, entre otros. [80]

El fundador de *Solid Angle* (compañía detrás de *Arnold* y actualmente subsidiaria de *Autodesk*) fué el español Marcos Fajardo, quien en 1997 descubrió un modo de mejorar la actual ecuación de renderizado. Con la ayuda del co-fundador Carl Ludwig (quien trabajaba en *Blue Sky Studios*, famoso estudio de animación) ambos fundaron *Solid Angle* y poco después el motor *Arnold* fué desarrollado. Destaca también el español Daniel Martínez Lara (quien es actualmente desarrollador y enseña en su propia conocida escuela *Pepe School*), quién fué la primera persona en crear un corto llamado "*Pepe*", donde hizo uso de esta tecnología. Más adelante, el código sería licenciado por Sony Pictures Imageworks en 2004 y en 2016 *Solid Angle* se uniría a Autodesk. [81]

Podemos observar la tecnología de Arnold en películas como *Iron Man 3* [82], *Pacific Rim* [83] o *Guardianes de la Galaxia Vol. 2* [84]; también en obras completamente renderizadas por ordenador como *Monster House* [81], *Lluvia de Albóndigas* [81] [86] o el teaser trailer promocional creado para el videojuego *The Witcher 3* [85], entre muchos otros proyectos en los que *Arnold* ha sido utilizado.

En mi proyecto, será el motor de renderizado que utilizaré dentro de *Maya*. Modificando su configuración, lo usaré para conseguir **renders** (imágenes) de mis personajes utilizando sus texturas definitivas con una iluminación agradable y un resultado profesional.

Substance Painter



Figura 35. Logotipo de Substance Painter

(Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/File:DaVinci_Resolve_Logo.png)

Substance es un conjunto de software que permite texturizar modelos 3D [87]. Sus diferentes herramientas permiten pasar por todas las fases del proceso de creación de materiales hasta la utilización de estos en modelos 3D para conseguir crear las texturas deseadas. Nos servirán para conseguir modelos con texturas que podremos utilizar en todo tipo de diferentes medios [87]. *Substance Painter*, particularmente, es el software que nos permite texturizar los modelos aplicando diferentes **materiales** [88]. No se trata de una herramienta de diseño de materiales como *Substance Designer*. Su interfaz me permite ver cómo el modelo va cambiando en tiempo real, y además también me permite "pintar" con materiales directamente tanto en el propio modelo 3D como en la imagen de textura, dotándome de una gran libertad para crear mis texturas y apreciar el resultado al mismo tiempo para realizar los cambios necesarios. [88]

Entre muchas de sus herramientas se encuentran las "smart masks" que permiten añadir detalles (suciedad, arañazos...) a los modelos y los "smart materials" con los que se pueden aplicar materiales con múltiples capas (que pueden ser otros materiales, smart materials o smart masks) que al instante pueden hacer que partes de un modelo se vean con un acabado muy pulido sin tener que realizar muchos más ajustes, con lo que permiten agilizar mucho el proceso.

Substance Painter tiene un **ritmo de trabajo "no destructivo"**, con lo cual los cambios que hagamos se pueden deshacer y además el programa puede salvarnos una copia adicional de nuestro trabajo cada cierto tiempo si así lo configuramos [88].

La compañía desarrolladora del software, *Allegorithmic*, fué fundada por *Sébastien Deguy*, quien años atrás desarrolló algoritmos relacionados con la síntesis procedural de texturas. *Allegorithmic* pasó a ser parte de *Adobe* en 2019. [90]. El software de *Substance* es utilizado en todo tipo de campos: cine, videojuegos, moda, arquitectura... Por ejemplo, en la industria del cine podemos encontrar películas como "*Pacific Rim: Uprising*" [91] o "*Frozen 2*" [92] que hacen uso de las herramientas de *Substance*. En el caso de los videojuegos, encontramos otros ejemplos como "*Apex Legends*" [93] o "*Rocket League*" [94].

En mi proyecto utilizaré este software para crear texturas con calidad profesional para mis personajes. Aprovecharé todas las funcionalidades mencionadas anteriormente y haré uso tanto de los materiales que el software trae por defecto como de otros recursos adicionales que se pueden conseguir gracias a la gran comunidad que este software posee en Internet (como la comunidad de "Substance Share" [89]).

GIMP



Figura 36. El icono y mascota de GIMP, Wilber.

(Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_GIMP_icon_-_gnome.svg)

GIMP es un programa gratuito y open-source de edición de imágenes. Está disponible para Windows, macOS y Linux. En 1996 se liberó al público por primera vez. En abril de 2018 se liberó la versión 2.10, que incorporaba una gran cantidad de mejoras al programa [95].

La clave de GIMP es que es sencillo de utilizar, existen incluso artículos que comparan su potencial con Adobe Photoshop y cómo podría llegar a competir con él [96]. Pese a que Adobe Photoshop es mucho más utilizado en la industria, no hay que olvidar que GIMP es un programa potente y, su mayor ventaja, es gratuito. Existen otros artículos que etiquetan a GIMP de ser el software gratuito de edición de imágenes más potente actualmente [97].

En mi proyecto se utilizará para crear las texturas preliminares (*placeholder*) y editar imágenes.

Mixamo



Figura 37. Logotipo de Mixamo.

(Fuente: <https://www.mixamo.com>)

Mixamo es una **compañía de gráficos por computador 3D**. La compañía utiliza técnicas de *Machine Learning* para automatizar parte de los procesos de animación. La compañía Mixamo fue adquirida por Adobe. La compañía se dedica a varios campos: creación de personajes 3D, grabación de animaciones con captura de movimiento, herramientas para realizar un rigging automático en modelos... [98][99].

Mixamo tiene una serie de **servicios web** que utilizaremos en las fases finales del desarrollo de nuestro proyecto. De entre todos sus servicios, vamos a hacer uso de la gran variedad de animaciones grabadas usando sistemas de **captura de movimiento**. Se pueden descargar desde el sitio web en una gran variedad de formatos.

En mi proyecto, se utilizará para hacer pequeñas pruebas con captura de movimiento, para valorar la posible implementación de esta en los personajes.

7. Diseño de personajes

Los personajes de animación 3D **usualmente forman parte de un proyecto mayor**. Originalmente, los personajes que van a desarrollarse en este proyecto iban a formar parte de un **cortometraje** de animación 3D, pero dicho proyecto fue descartado para centrarse únicamente en el desarrollo de los personajes.

En este proyecto voy a reaprovechar este diseño creado para esos personajes teniendo en cuenta que estos iban a formar parte de un proyecto más grande, lo que refuerza la idea de que cuando creamos personajes de animación 3D para un proyecto estos deben responder a una serie de características en función del cometido que servirán en el producto final y teniendo en cuenta las especificaciones previas definidas por el diseño de los mismos, tal y como vimos en el apartado 2.1.5 Personajes de animación 3D.

La idea original del cortometraje era la siguiente: *“un pequeño zorro intenta colarse en un parque de atracciones donde no se permite la entrada a ningún zorro, pero el parque está permanentemente vigilado por un oso malvado y cascarrabias que intentará impedirselo”*.

El protagonista era un **zorro común o zorro rojo**, “Rapus”. Uno de los mayores estereotipos de estos animales es que son astutos, furtivos e intentan engañar [35]. En el caso de este cortometraje, el protagonista tenía que ser ingenioso para intentar sortear al antagonista y conseguir evitar que le corte el paso e inteligente para poder idear estrategias que consiguieran tal fin.

El antagonista era un **oso pardo norteamericano**, “Urso”. El oso es estereotípicamente representado de múltiples maneras: estúpido, vago, feroz... [35]. Debido a que se necesitaba una especie de animal que pudiese causar intimidación al protagonista, se pretendía utilizar un oso como antagonista, al ser animales que pueden ser feroces. Se descartó la idea original de utilizar un lobo como antagonista, debido a que sería demasiado similar al lobo en cuanto a físico y el objetivo era realizar dos personajes que fuesen lo suficientemente distintos entre ellos.

Para la realización de los diseños de los personajes **se realizó una colaboración con Patricia Venegas** (mejor conocida como *PatiCrafties* [100] en redes sociales), una artista independiente especializada en diseño de personajes. Se contactó con ella colaborar en la realización del diseño definitivo de los personajes del proyecto. Se decidió realizar esta colaboración para garantizar

un **buen diseño** de ambos personajes y para mejorar mi **habilidad de trabajo con referencias** de otras personas (como habitualmente se hace en un equipo de trabajo).

Para realizar la colaboración, se redactó un **documento con pautas** e indicaciones en el cual se detallaban todas las características físicas que debían poseer los personajes, así como referencias que se podían utilizar para el diseño de estos. Este documento fue enviado a la artista. La comunicación entre ambos componentes fue constante, y garantizábamos en todo momento tanto que el diseño se adecuara a lo necesario para el proyecto como que los requerimientos no impidieran a la artista trabajar cómodamente.

En este trabajo de fin de grado, los personajes en 3D a desarrollar se crearán a partir de estos diseños de los personajes, de modo que se va a trabajar como si estos personajes fuesen a ser utilizados en un proyecto más grande.

7.1. Diseño del zorro (Rapus)



Figura 38. Primer boceto de "Rapus".

(Fuente: Boceto realizado por Patricia Venegas)

Los primeros resultados del boceto del zorro fueron muy satisfactorios, se había capturado perfectamente la esencia de las cualidades del personaje y se había creado un personaje totalmente original. Algunos detalles fueron aportación de Patricia, y no todos se conservaron

para la versión final. Las piernas sufrieron cambios en la versión final, pues se intentó replicar de forma más fiel la anatomía de un zorro para la zona de las piernas.

Los bocetos más cercanos al resultado final asemejaban fielmente la postura que sería necesaria para utilizar una imagen de referencia en el programa de modelado 3D en formato A-Pose o Stance Pose. Lo primero que se indicó a la artista fué que la posición de los brazos podía ocasionar problemas, pues la semana anterior se habían realizado varias consultas por internet sobre, precisamente, si era óptimo una pose en A (A-Pose / Stance Pose) en lugar de una pose en T (o T-Pose) para los modelos.



Figura 39. Segundo boceto de "Rapus".

(Fuente: Boceto realizado por Patricia Venegas)

Finalmente, decidí que lo mejor sería modelar los personajes con **Stance Pose o pose en A** debido a que aparentemente esto contribuye a un mejor resultado en las fases de rigging, debido a que se modelan los brazos en una postura más natural que en una pose en T. Se puede consultar más información sobre este tema en el apartado del estado del arte 2.3.1 Modelado.

Posterior a estas indicaciones, se trabajó en la vista lateral, la cual permitía discernir mejor los volúmenes de la cabeza, el pecho, las piernas... No se presentó ningún inconveniente a esta vista, pues parecía cumplir todo lo acordado en los documentos de referencia.

La bandana de la cabeza fue descartada en la versión final, me pareció que incluir piezas de ropa en la malla 3D del modelo no era del todo correcto y preferí modelar solamente el cuerpo de los personajes sin nada de ropaje (ya que los elementos de ropa pueden ser añadidos más adelante si se desea, pero si ya forma parte de la geometría sería difícil eliminarla), especialmente si implementar tejidos podría influir negativamente sobre implementar también el pelaje del personaje, por lo que decidí priorizar la implementación de pelaje antes que la de tejidos.

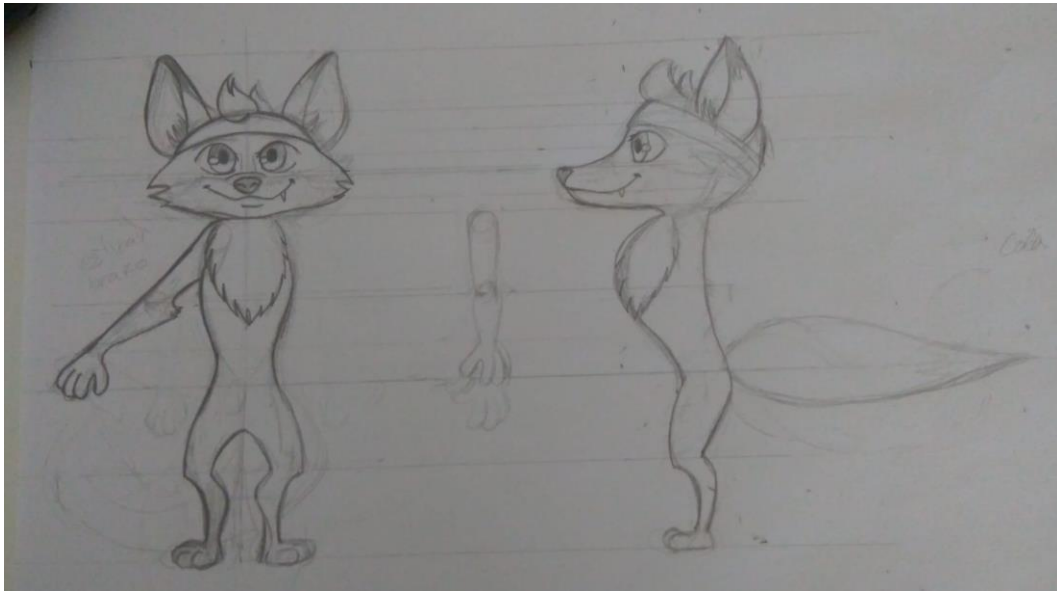


Figura 40. Tercer boceto de "Rapus" con vista lateral.

(Fuente: Boceto realizado por Patricia Venegas)

7.2. Diseño del oso (Urso)



Figura 41. Primer boceto de "Urso".

(Fuente: Boceto realizado por Patricia Venegas)

Los primeros bocetos de oso sufrieron algunos **cambios** en relación con la versión final. Dichos cambios se aprecian sobre todo en la forma de la cabeza y en la longitud de las piernas respecto a la versión final. Se indicó a la artista que probablemente sería mejor que las piernas fuesen ligeramente más largas para poder tener más movilidad a la hora de animar al personaje.

Los bocetos cercanos al resultado final reflejaban prácticamente el resultado final sin mayores cambios. Todo parecía estar en orden y las indicaciones aportadas en el personaje anterior permitieron que se diseñara desde un principio estas imágenes en A-Pose o forma de flecha.

La versión final fue digitalizada y enviada por correo para poder trabajar con ella. La referencia de color no sería la utilizada definitivamente, pero serviría como referencia a la hora de texturizar.



Figura 42. Segundo boceto de “Urso” con vista lateral.

(Fuente: Boceto realizado por Patricia Venegas)

La versión final de este personaje fue finalizada más rápidamente que el anterior y ya se encontraba preparado para poder ser utilizado como imagen de referencia en el programa de modelado 3D.

7.3. Diseños 2D definitivos

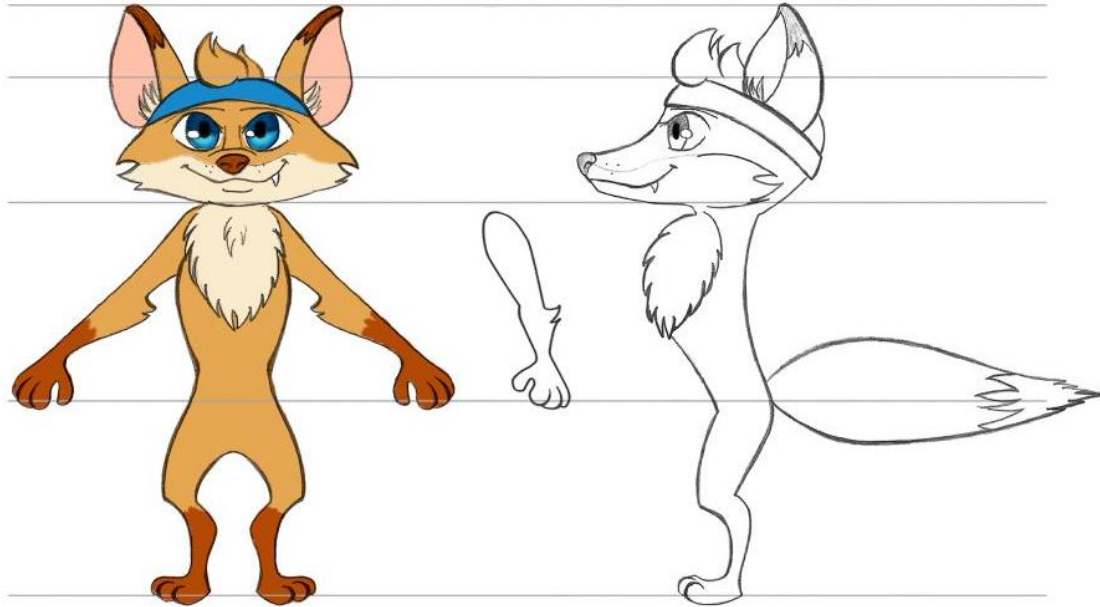


Figura 43. Diseño final digitalizado de "Rapus".

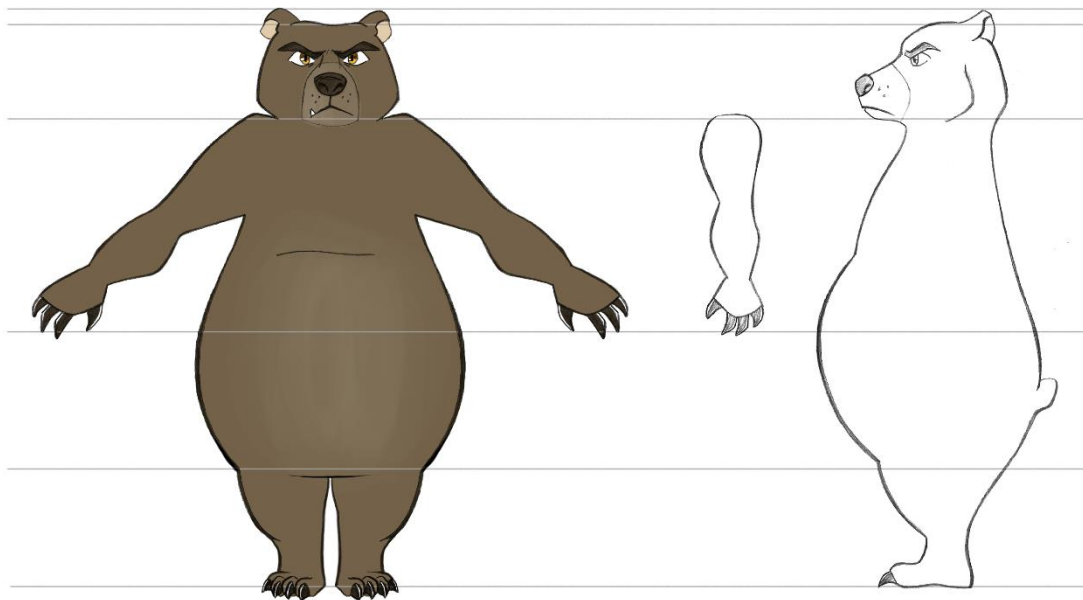


Figura 44. Diseño final digitalizado de "Urso".

(Fuentes: Diseños realizados por Patricia Venegas)

8. Cuerpo del trabajo

En este apartado se documentarán todos los pasos realizados para la creación de los personajes 3D de principio a fin a partir de los bocetos vistos en el apartado

Diseño de personajes.

Se hará mención explícita a opciones y funciones importantes utilizadas dentro de los diferentes softwares debido a que uno de los objetivos de este trabajo es intentar servir como una especie de **orientación** para otros artistas que busquen un método para desarrollar personajes de forma similar a la descrita en los objetivos de este proyecto.

Este trabajo estará dividido en varios subapartados basadas en las diferentes fases del desarrollo como se habló en el apartado 6.1 División del proyecto en fases , con algunas excepciones.

8.1. Modelado de personajes

Para conseguir tener un personaje funcional, el primer paso es crear dos modelos 3D para tener una geometría que represente a los personajes, es decir, nuestros personajes 3D. Para comprender los conceptos tratados en este apartado, es importante consultar el apartado del estado del arte: 2.3.1 Modelado.

El primer personaje que se empezó a modelar fue el zorro, siendo la primera vez que intento modelar un personaje orgánico. Apenas había utilizado la interfaz de Maya anteriormente, por lo que este proyecto me ayudó a familiarizarme con la interfaz y funcionalidades de este programa. Como vimos en el apartado

Diseño de personajes, para realizar estos modelos cuento con el arte conceptual desarrollado por una artista independiente, estos dibujos me servirán como orientación a la hora de crear mis personajes.

Para realizar este personaje, utilicé la técnica basada en el **“box modeling”** mediante la cual se empieza con un simple cubo hasta conseguir el resultado deseado [50].

Como vimos en apartados anteriores, hoy en día existen múltiples técnicas para modelar personajes, y cada una ofrece diferentes ventajas. Para modelar a mis personajes, decidí utilizar la técnica “box modeling”, técnica mediante la cual empiezo con una forma geométrica simple y voy realizando extrusiones a la misma hasta tener la forma que deseo. Además de que ya realicé en el pasado personajes siguiendo esta técnica, existen otros motivos por los cuales no elegí otras técnicas como el “Sculpting”, y es debido a que, ya que este personaje va a ser animado, debo tener especial **cuidado en la distribución del flujo de ejes o “edge flow”** de mi modelo. Si usase una técnica como el “Sculpting”, podría tener un modelo más profesional y realista en menos tiempo, pero a costa de no controlar el flujo de ejes de mi geometría y tener un modelo con una muy alta carga poligonal que debe ser limpiado y ajustado. Esta técnica de “Sculpting” me resulta muy interesante, está en auge y la estoy explorando en algunos proyectos en paralelo, pero para ajustarme a la planificación de este proyecto y asegurarme de que tengo el control total del flujo de ejes mientras voy construyendo mi modelo, decidí utilizar “box modeling”.

El primer personaje que se modelará será el **zorro**, “Rapus”.

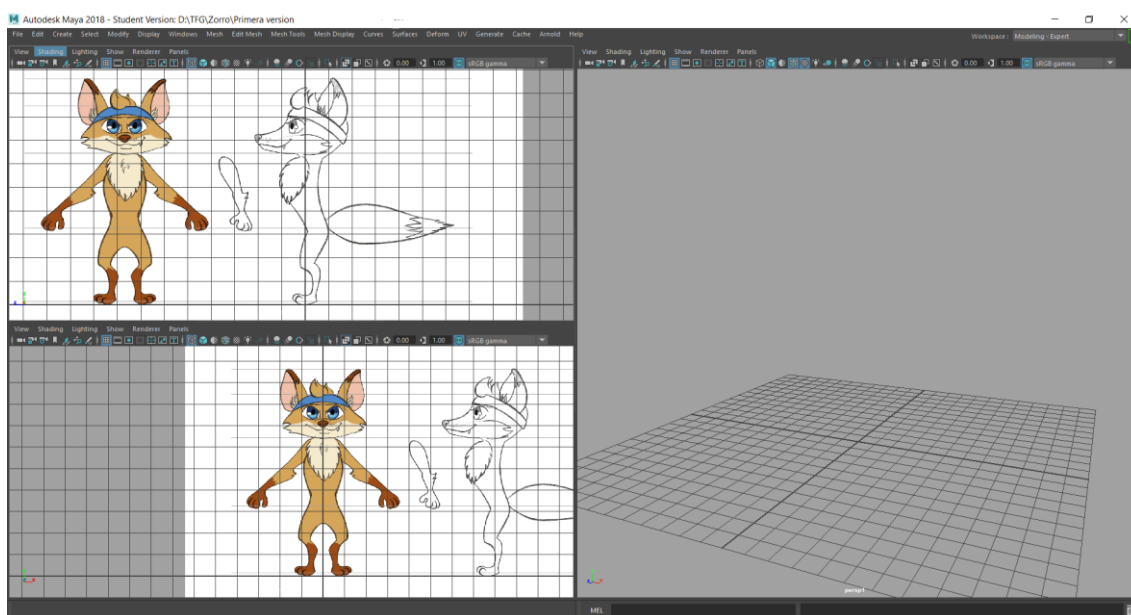


Figura 45. Espacio de trabajo en Maya 2018 para realizar el box modeling del zorro Rapus. La ventana está distribuida en tres, y dos de ellas me permiten ver los dibujos de referencia.

(Fuente: Elaboración propia)

El primer paso al abrir Maya fue crear un proyecto nuevo, y lo primero que hice en este fue ajustar mi interfaz de trabajo para tener 3 pantallas que me permitieran ver mi modelo 3D en perspectiva y dos vistas ortográficas con las que ver la vista frontal y lateral de mi modelo. Tras ajustar mi espacio de trabajo, creé dos planos con las **imágenes de referencia** que fueron creadas para los personajes, de modo que me sirvan de guía para modelar tanto el cuerpo como la cabeza.

También usé como referencia la guía de *James Taylor “Maya bodybuilder CHARACTER MODELING tutorial”* en YouTube [101] para orientarme más a la hora de realizar el cuerpo del personaje. *James Taylor* es un gran profesional y ha creado todo tipo de tutoriales a lo largo de los años, y utilicé partes de su vídeo como base para crear mi propio cuerpo personalizado asegurándome de que el flujo de ejes de mi modelo fuese más correcto. Además de utilizar esta guía, consulté información sobre buenas praxis cuando se trabaja intentando recrear topologías (*topologyguides.com* fue una gran fuente de información para este proceso [102]).

Debido a que estoy siguiendo una referencia (los dibujos de mis personajes) el conocimiento que puedo sacar de este tipo de guías es limitado, y como toda referencia sólo podré aprovechar cierta parte del contenido de este. Por suerte, mi personaje es antropomórfico, por lo que la mayoría de la **anatomía** se mantiene similar a la de esta guía, aunque hay zonas (como las piernas) que **difieren** de cómo un ser humano está estructurado. Para complementar a las referencias, busqué en internet imágenes relativas a la anatomía de los zorros, de modo que siempre tuviera en mente cómo está estructurado el cuerpo de un zorro real pese a que mi personaje es una reinterpretación de un zorro con forma humana.

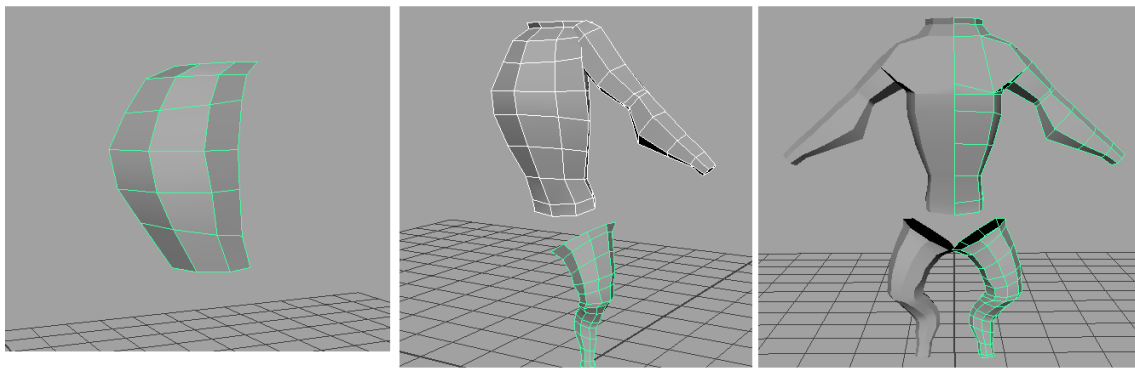


Figura 46. Primeros pasos de la construcción del cuerpo de Rapus.

(Fuente: Elaboración propia)

A pesar de que estoy usando una técnica basada en el box-modelling, decidí crear las piernas por separado a partir de otro cubo aplicando también box-modelling como se puede ver en la Figura 46. Primeros pasos de la construcción del cuerpo de Rapus.. Esto es debido a que las piernas de este personaje son muy particulares debido a que están más bien basadas en la anatomía de un zorro real y quería apreciar mejor su forma en todos los ángulos para asegurarme de estar creándola correctamente. Seguidamente las junté a la malla del cuerpo principal donde se continuó realizando box-modelling a base de extrusiones.

Encontré varios problemas a la hora de modelar el cuerpo con Maya, pero principalmente se debían a mi inexperiencia con este software (gran cantidad de nuevas funcionalidades, atajos de teclado, diferencias con otros software...). A la hora de modelar en 3D en Maya, la función “*Smooth mesh preview*” es altamente útil, sirve para poder saber cómo va a verse mi modelo cuando se le aplican técnicas de suavizado y subdivisión en el renderizado final. Esto me permite trabajar con un modelo con menos polígonos y, por tanto, permite que se trabaje con más rapidez y comodidad.

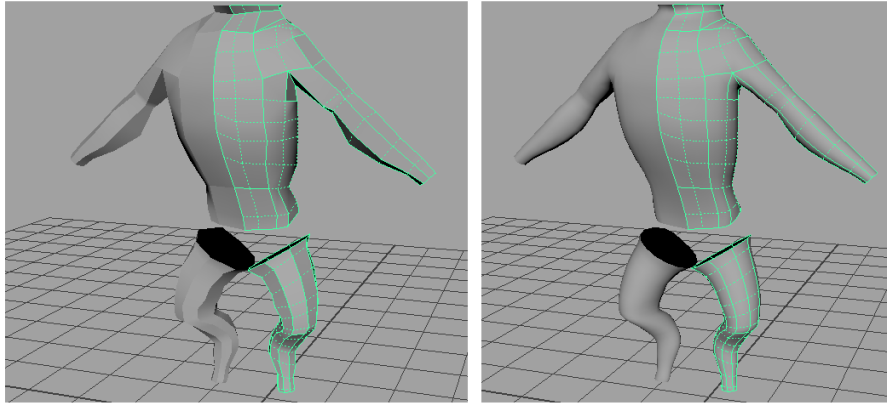


Figura 47. Diferencias al visualizar el cuerpo de Rapus con “smooth preview” desactivado y activado.

(Fuente: Elaboración propia)

Pude seguir las indicaciones de *James Taylor* hasta cierto punto (aunque siempre las había considerado meramente orientativas) y después decidí continuar el modelado del cuerpo por mi cuenta, siguiendo únicamente el arte conceptual de mis personajes. Siempre y cuando no estropee el “Edge flow” que siguen los ejes de la geometría, no debería haber ningún problema.

Por ejemplo, la **cola** es un elemento completamente nuevo en mi modelo que **no está presente en la anatomía de los humanos**, se trata de una **necesidad particular** de los animales antropomórficos. Decidí sencillamente realizar una extrusión en la zona trasera del modelo e intentar que el nacimiento de la cola se viese lo más natural posible. Para determinar el grosor, se utilizó el dibujo de referencia.

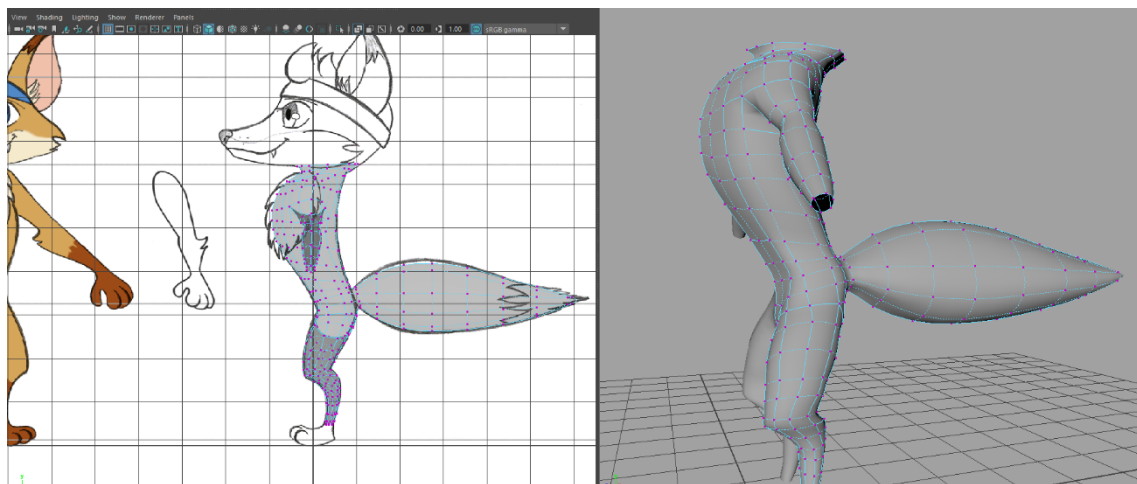


Figura 48. Modelado de la cola de Rapus siguiendo el diseño del personaje para mantener la consistencia.

(Fuente: Elaboración propia)

La zona de las **manos** en mis modelos solo posee **4 dedos**, como referencia a que en la animación tradicional no suelen dibujarse los 5 dedos para ahorrar tiempo de animación [135]. **Las piernas y patas** también fueron particularmente diferentes debido a que, en el diseño que fue realizado para el Zorro, las piernas tenían una forma curva muy particular que debía poder apreciarse en el modelado (esto ocurre debido del diseño que la artista Patricia Venegas realizó para que las piernas fuesen similares a las de un zorro real).

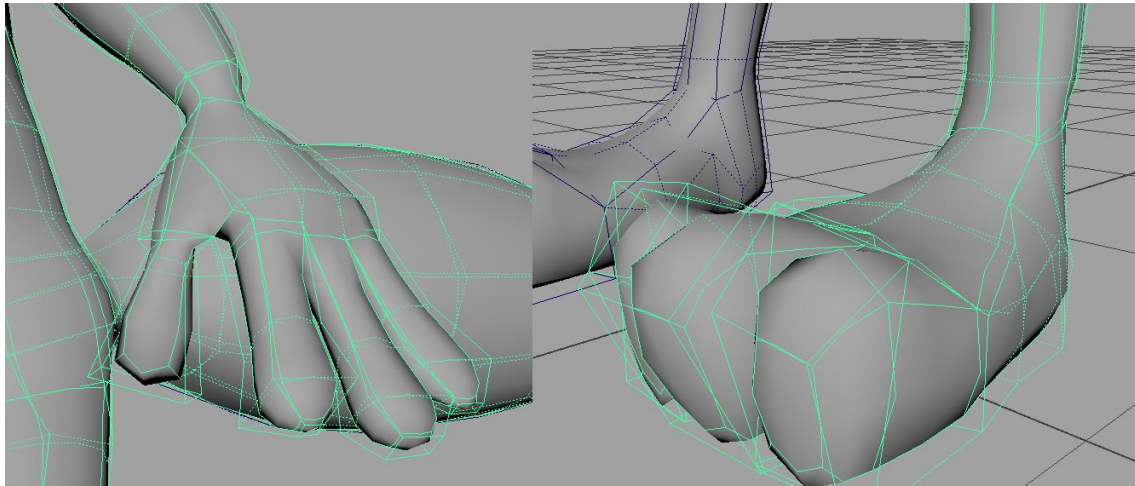


Figura 49. Detalle de las manos y patas de Rapus con el efecto “smooth mesh preview”, la malla original es verde y la geometría gris es el resultado de este efecto.

(Fuente: Elaboración propia)

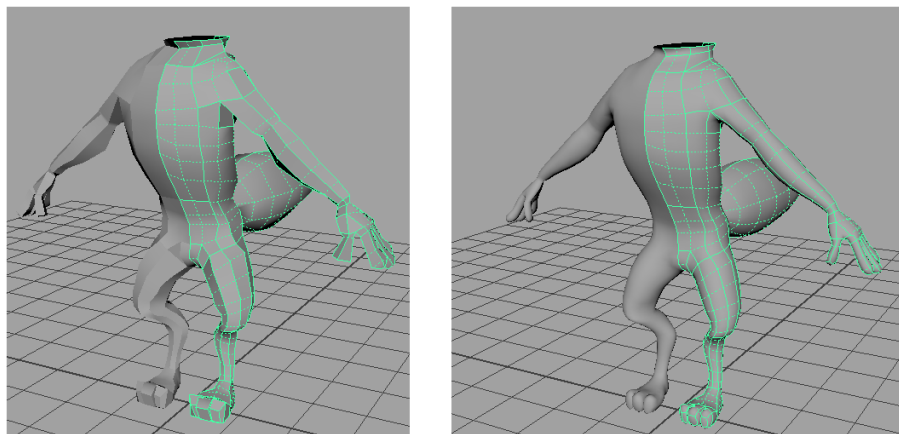


Figura 50. Estado del modelado del cuerpo de Rapus justo antes de comenzar el modelado de la cabeza.

(Fuente: Elaboración propia)

Tras modelar el cuerpo, comenzó el **modelado de la cabeza**, donde encontré bastantes más complicaciones. Parte de la gracia de un personaje antropomórfico es que mantiene parte de las características del cuerpo de una persona humana, pero la cabeza suele ser el elemento de

estos personajes que menos suele parecerse a un personaje humano, es por ello por lo que pensé que usar referencias de cabezas humanas como las guías de *James Taylor* mencionadas anteriormente no me ayudarían mucho a conseguir el efecto deseado. Sin embargo, una cabeza humana realmente no dista tanto como pueda parecer a la de otros mamíferos, simplemente varían las proporciones y en ocasiones poseen elementos adicionales. Llegué a la conclusión de que lo más importante era que, aunque la cabeza del personaje no fuese del todo humana, lo más importante es **mantener el “Edge Flow”** de forma correcta y adaptarlo a cualquier forma que necesite mi personaje sin importar que sea una cabeza humana o no de modo que no haya problemas al incorporar animación a la cabeza.

Antes de comenzar a modelar la cabeza, estudié varias imágenes buscando el término “*fox topology 3D*” en Google Imágenes y similares para comprobar las diferentes zonas que los artistas suelen separar de la cabeza para que su flujo de ejes sea correcto. Una de las referencias que encontré más útil fue el personaje “*Warrior Leopard*” de *François Boquet* en ArtStation [60]: se trata de un leopardo antropomórfico perfectamente animado que respeta todos los “Edge Flows” en su modelo creando sus propias soluciones para aquellas partes del animal que no son tan similares al ser humano, encontré este modelo altamente inspirador y una prueba de que se puede adaptar el flujo de ejes a las necesidades de un animal antropomórfico.

Los principales problemas que veía a la hora de modelar eran las **orejas y el hocico**, el resto de los elementos de la cabeza realmente no difieren mucho de una persona humana. Si miramos las calaveras de un zorro y de un humano, podemos ver que realmente la estructura craneal es muy similar, pero es como si en el zorro la zona de la nariz y boca estuvieran muy “estiradas” hacia delante en comparación al esqueleto humano normal. Comencé a modelar respetando el flujo de ejes o “Edge Flow” lo mejor posible. Esta es otra de las **necesidades particulares** que hay que tener en cuenta a la hora de desarrollar este tipo de personajes.



Figura 51. Comparación de un cráneo humano con el cráneo de un zorro.

(Fuente: <https://pixabay.com/photos/fuchs-fox-skull-skull-2584277/> ,

<https://www.publicdomainpictures.net/es/view-image.php?image=296301&picture=craneo-humano>)

Para empezar a modelar la **cabeza**, seguí como referencia los pasos del artista “Sergi Caballer” [103], artista 3D español que ha trabajado en películas de Disney como “Vaiana” y “Zootrópolis”. Su página web contiene información muy útil acerca de cómo modelar en 3D personajes con estructuras correctas que permitan una integración para animación sin excesivos problemas. En particular, su vídeo “3D Facial Modeling Timelapse” [103] recreaba una cabeza humana completamente funcional para animación desde cero, utilizando box modeling. Decidí hacer la base de la cabeza de mi protagonista de forma similar al trabajo de Sergi pero, al igual que cuando modelé el cuerpo, llegado un punto dejé de utilizar la referencia y desarrollé el resto de la cabeza por mi cuenta.

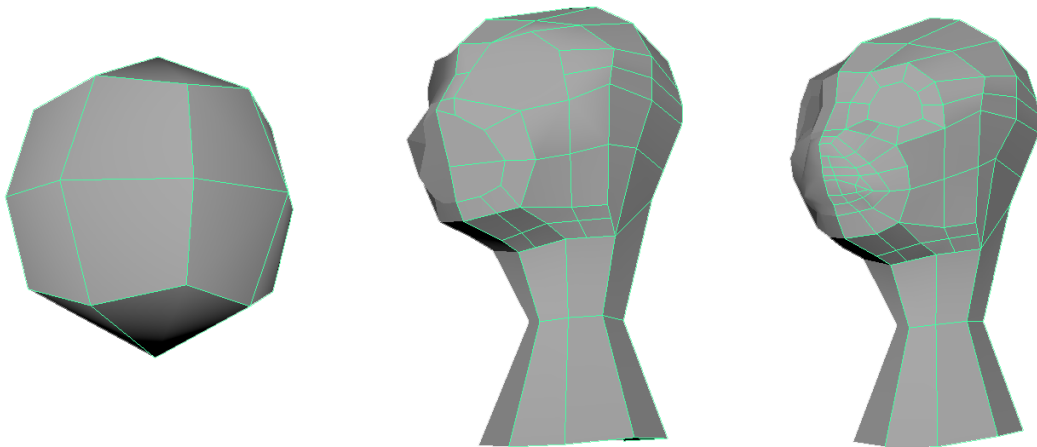


Figura 52. Construcción de una cabeza humana, siguiendo los pasos de Sergi Caballer.

(Fuente: Elaboración propia)

Para añadir las **orejas** decidí crear un conjunto de ejes cerrados como un círculo, separando la zona de las orejas del resto de elementos de la cabeza, esto es una técnica utilizada por algunos artistas para seguir respetando el “Edge Flow” de la cabeza pero permitiendo introducir otros elementos a la misma en zonas separadas (es muy parecido a la forma en la que se ha añadido la zona de los ojos y el hocico en la foto, creando con ejes zonas cerradas circulares separadas).

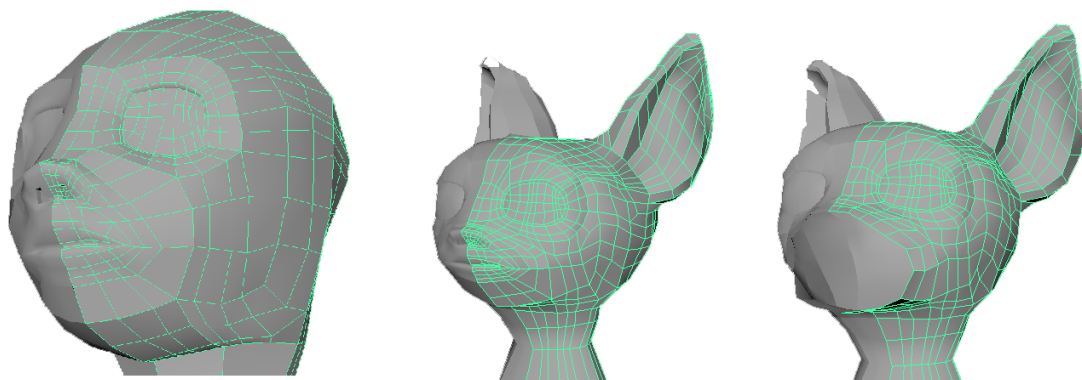


Figura 53. Progreso del modelado de Rapus, introduciendo elementos únicos de mi personaje y creando nueva geometría respetando los flujos de la geometría facial.

(Fuente: Elaboración propia)

El **hocico** fue definitivamente la parte más compleja de todo este modelo. No tenía muchas referencias que seguir, por lo que decidí buscar algunas imágenes de referencia de Internet y cuando tuve una versión más o menos modelada del hocico decidí contrastarla con varios modelos similares en *Sketchfab* para contrastar cómo habían realizado esta aproximación otros artistas. Me sorprendió mucho ver que la mayoría utilizaban técnicas muy diferentes. En particular, los modelos “Taryk” del usuario “SKYE” en *Sketchfab* [103] y “Foxc” del usuario “Zab” en *Sketchfab* [105] fueron muy buenos referentes para la parte del hocico.

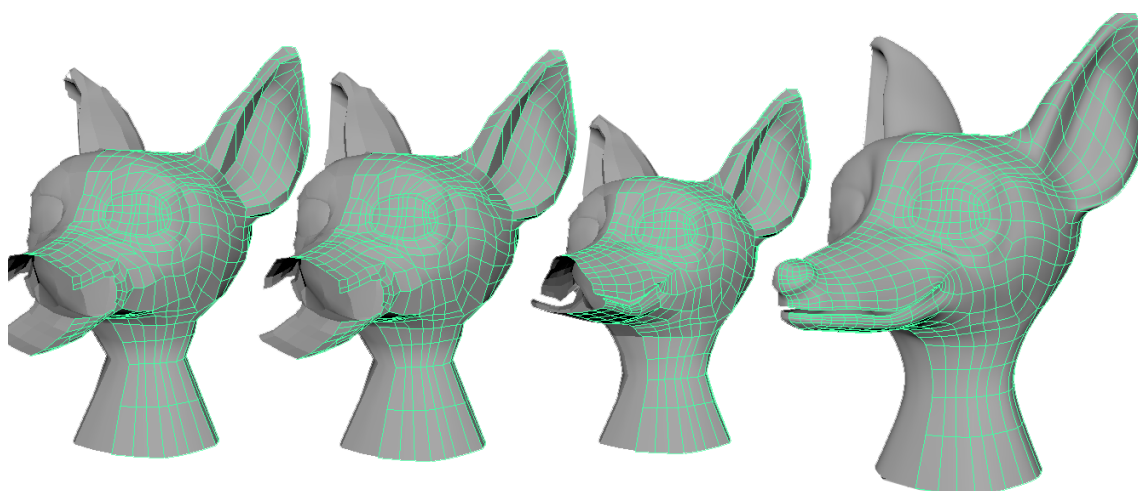


Figura 54. Progreso del modelado del hocico, nariz y boca de Rapus.

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez que el hocico fue modelado, me di cuenta de que sería necesario modelar **el interior de la boca** si pretendo animar la cara del personaje. Puede parecer evidente, pero es algo que no

había tenido muy en cuenta hasta este momento, y me hizo darme cuenta de que por mucha planificación que se haga siempre puede haber cosas que no se han considerado. Para modelar la dentadura decidí seguir mi instinto y realizar extrusiones con escalado por la zona inferior y superior del hocico. Para crear los **colmillos**, simplemente fue necesaria una extrusión en una de las caras de la dentadura superior. Gracias a la función “*smooth mesh preview*” puedo ver que mis dientes se redondearán, tal y como los colmillos de los zorros reales están redondeados y curvados (aunque afilados).

Tras modelar los dientes, se realizaron una serie de extrusiones para modelar **la lengua y la garganta**, debido a que con la boca abierta estos elementos serán visibles. Me fijé en los modelos de *Sketchfab* anteriores para saber hasta qué profundidad se suele modelar la garganta (para asegurarme de que no se vea el interior de la boca vacío ante diversos ángulos de cámara).

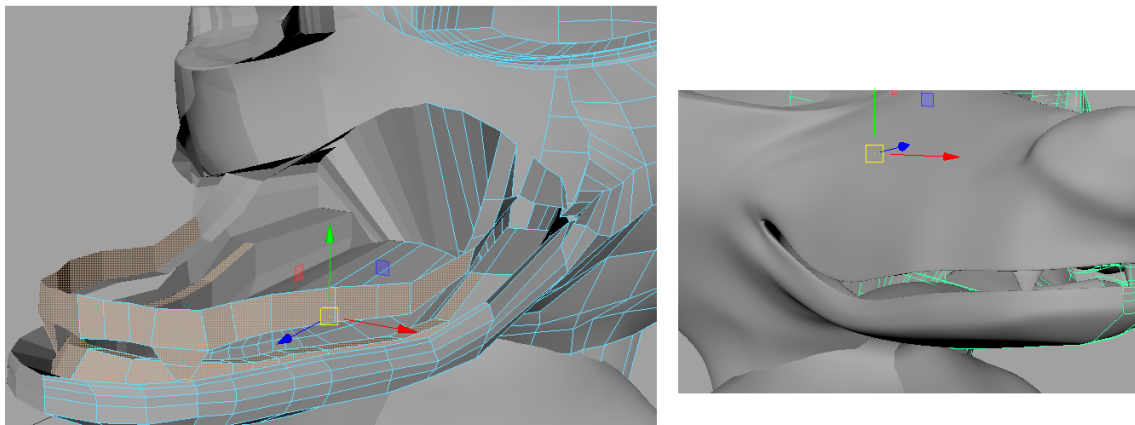


Figura 55. A la izquierda, detalle del modelado de los dientes, lengua y garganta de Rapus. A la derecha, visionado de estos elementos con “smooth mesh preview”.

(Fuente: Elaboración propia)

En este punto decidí pedir feedback a varios compañeros para retocar elementos de la cabeza. Al parecer, la cabeza resultaba demasiado delgada y hacía que el personaje no fuese parecido a su referencia. En la referencia el personaje está recubierto en pelo, por lo que era complicado mantener una constancia entre el modelo y mi referencia. Aún así, decidí realizar algunas operaciones de escalado para intentar ser más fiel al boceto original.

Un detalle que no me convencía del todo era la estructura de los ojos. Sergi Caballer en su tutorial modela las pestañas cerradas de un personaje. Pero para este personaje, decidí realizar una aproximación más similar al modelo “*Taryk*” de Sketchfab para que sea posible realizar un

pestañeo moviendo la geometría de los párpados sin necesidad de añadir cejas (para el otro personaje sí que se incluirán cejas).

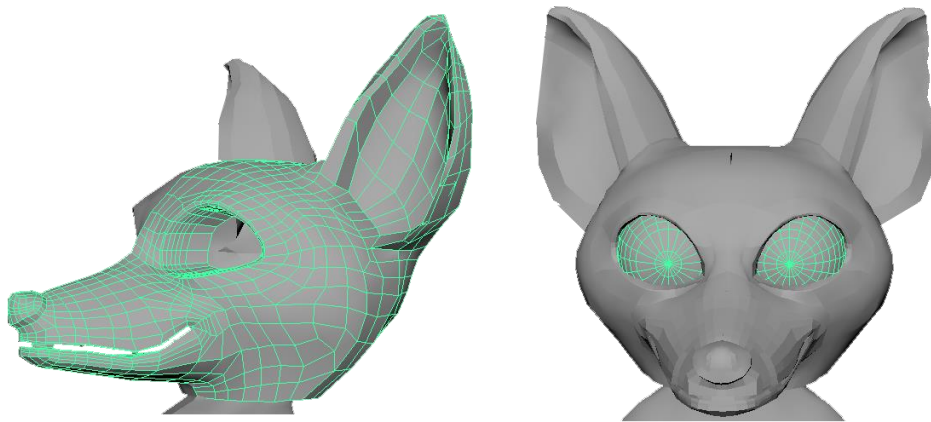


Figura 56. A la izquierda, muestra de la geometría de los párpados que permitirá realizar un pestañeo. A la derecha, esferas utilizadas para los ojos de Rapus.

(Fuente: Elaboración propia)

Tras varios retoques finales, se consiguió terminar el modelado de la cabeza. Para los **ojos**, se crearon dos esferas separadas en la zona de los ojos definida previamente. Estas esferas son modelos independientes, no están unidas a la geometría del cuerpo.

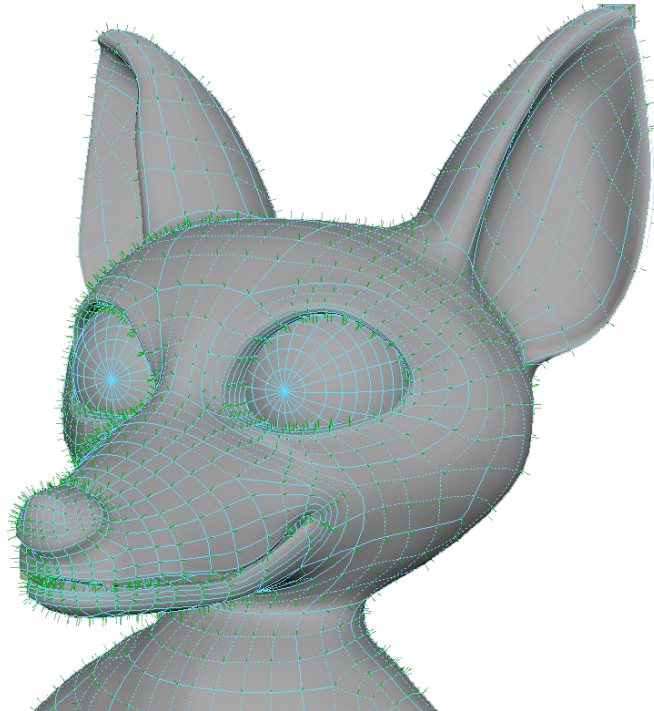


Figura 57. Versión definitiva del modelado de la cabeza de Rapus, donde se puede ver que se sigue respetando la referencia y los ojos se integran correctamente en la cabeza.

(Fuente: Elaboración propia)

Este es el resultado final de la cabeza del personaje.

Para el modelado del segundo personaje, Urso, ya había conseguido más destreza con el software como para poder realizar el trabajo en una cantidad de tiempo mucho más reducida. Para comenzar el modelado, decidí intentar reutilizar ciertas partes del otro modelo, siempre que fuera posible. Mi intención original era sencillamente reajustar el cuerpo del zorro para crear al oso, pero por desgracia el oso es mucho más grande que el zorro, por lo que ciertas caras quedarías demasiado estiradas. Lo que decidí hacer fue **utilizar el cuerpo de Zorro como base**, ir borrando las partes de la geometría que no quedaban bien y reconstruirlas según las necesidades este otro personaje. Lo primero que hice al comenzar mi nueva escena, fue configurar el escenario para poder tener mis referencias del oso preparadas:

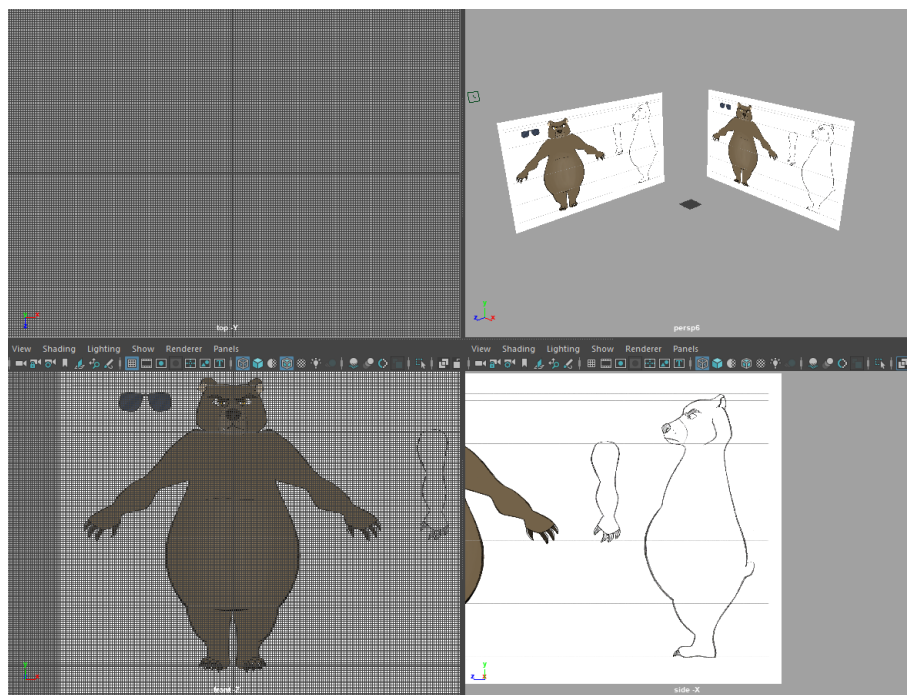


Figura 58. Espacio de trabajo creado para modelar al oso "Urso".

(Fuente: Elaboración propia)

De esta manera, podría modelar a este personaje de una forma mucho más cómoda, de la misma manera que hice con Rapus. Importé el modelo del zorro Rapus, y lo primero que hice fue escalar su cuerpo verticalmente para que se ajustase a la altura del oso. Utilizando diferentes vistas, comencé a modelar los pies, el estómago y la cola de este personaje. Mi estrategia al realizar estos modelos fue empezar con los volúmenes generales del cuerpo y luego profundizar en los detalles, siguiendo la filosofía del box modeling.

Los pies y las zarpas de este personaje son muy diferentes a las del zorro Rapus. Cuando hablamos de las zarpas o “manos” de los osos se trata de manos mucho más gruesas y con detalles que tienen diferentes volúmenes y texturas. Para poder ser lo más fiel posible a las referencias y a la idea que tenía de mi personaje, decidí incluir más detalle en las manos y en los pies para intentar que estos atributos se reconocieran adecuadamente. Se podrán apreciar estos cambios más adecuadamente en fotografías posteriores. La presencia de zarpas es otro ejemplo de una **necesidad particular** sólo presente a la hora de desarrollar personajes con características animales.

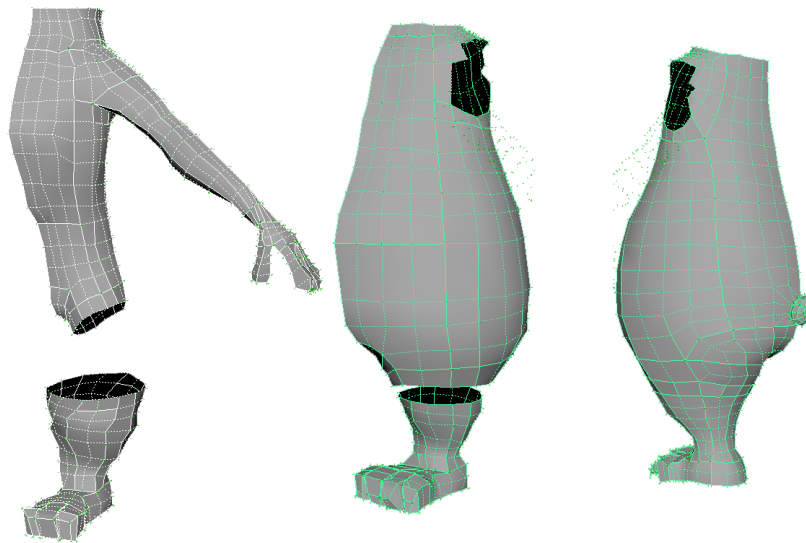


Figura 59. Primeros polígonos creados para el modelado de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez que todos los elementos del cuerpo fueron modelados, me dediqué a juntarlos todos en una única malla. Cuando todos los elementos se encuentran en un solo objeto, puedes ver con más claridad el conjunto que forman. A partir de mis referencias, realicé varios ajustes para intentar que el personaje quedase lo más adecuado posible a mis referencias. Utilicé la utilidad de “Mesh > Mirror” para poder observar las dos partes del cuerpo (izquierda y derecha) al mismo tiempo, y comprobar que los volúmenes serán adecuados en el modelo final.

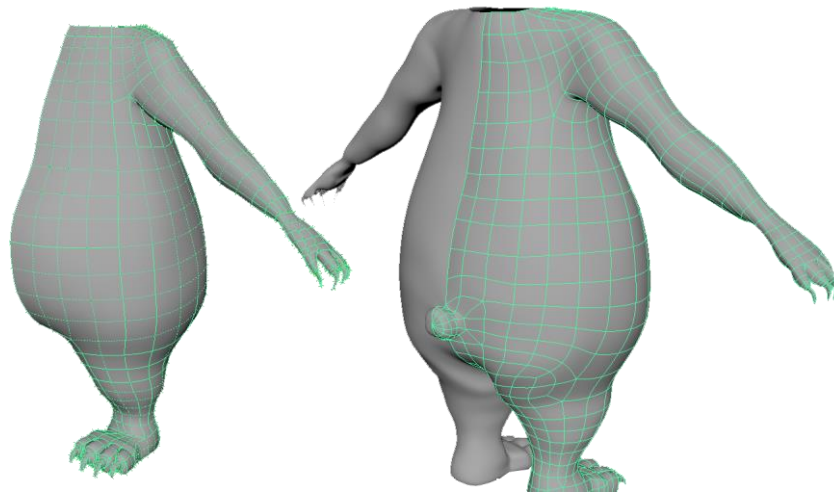


Figura 60. Primera versión del cuerpo de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

Tras realizar algunos ajustes más, decidí comenzar el modelado de la **cabeza**.

La cabeza del oso Urso es mucho más grande que la del zorro Rapus, pero sus elementos individuales son mayoritariamente más pequeños que los de Zorro (ojos, nariz, orejas...) por lo que este contraste entre ambos debe ser evidente. Para modelar la cabeza empecé a partir de una copia de la cabeza de Rapus, eliminando poco a poco elementos de la cara pero manteniendo la estructura general de la cabeza, ojos y el hocico. Al reaprovechar la cabeza de mi otro personaje, también reaprovecho el Edge Flow que construí para él, y si tengo cuidado al modificarla el flujo de ejes debería seguir siendo correcto.



Figura 61. Progresión del modelado de la cabeza de Urso, construida a partir de la cabeza de Rapus.

(Fuente: Elaboración propia)

Los **ojos** eran mucho más pequeños y hubo que escalarlos, las **orejas** tuvieron que ser reconstruidas completamente para no utilizar excesiva geometría y el **hocico** también tenía que ocupar unas dimensiones diferentes y ser más cuadrado y pequeño que el de Zorro. Para este modelo, no utilicé otros modelos 3D como referencia, sino fotografías reales de osos pardos de Internet, debido a que no estaba tan confuso en cuanto a cómo debían ser las proporciones (en gran parte gracias al boceto de mi personaje). A diferencia de Rapus, Urso cuenta con dos **colmillos** inferiores muy marcados en lugar de superiores como Zorro. Oso también cuenta con **cejas** para aumentar aún más su expresividad, ya que en su boceto conceptual tiene unas cejas muy definidas. Decidí incluir cejas en este personaje y no en el otro para comprobar el contraste entre ambos (debido a la variedad de modelos que he visto en Internet: algunos con cejas y otros sin ellas).

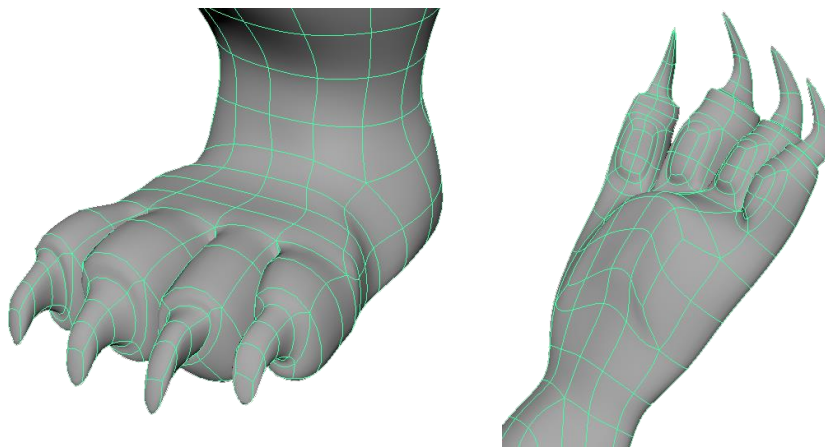


Figura 62. Detalle de zarpa y pata de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

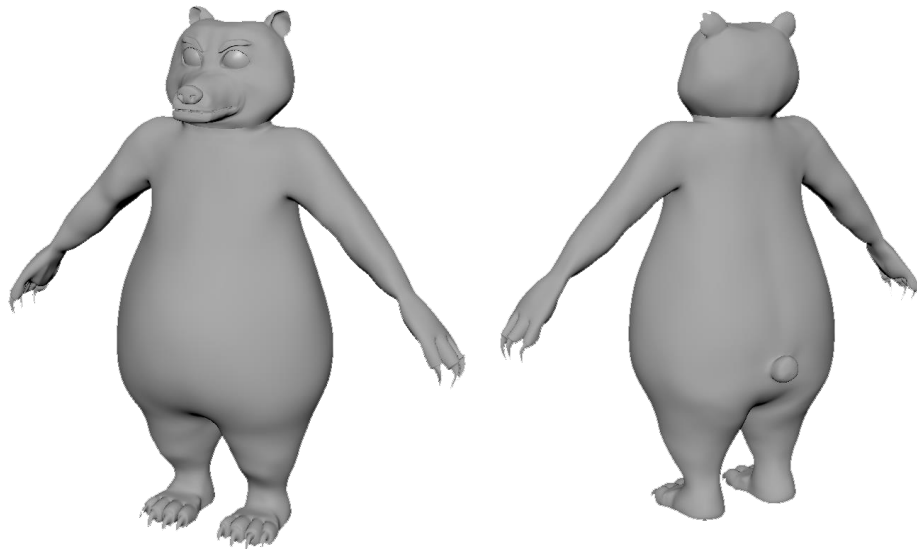


Figura 63. Primera versión del modelado de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

Tras finalizar el modelado de la cabeza, construí una serie de caras extra que unieron la cabeza con el cuerpo. Antes de pasar a la siguiente fase del proyecto, realicé varios ajustes a todas las partes del modelo: ensanché la cara para hacerla más acorde a la referencia, volví a modelar toda la zarpa para evitar posibles problemas de texturizado en el futuro, hice las piernas ligeramente más altas...

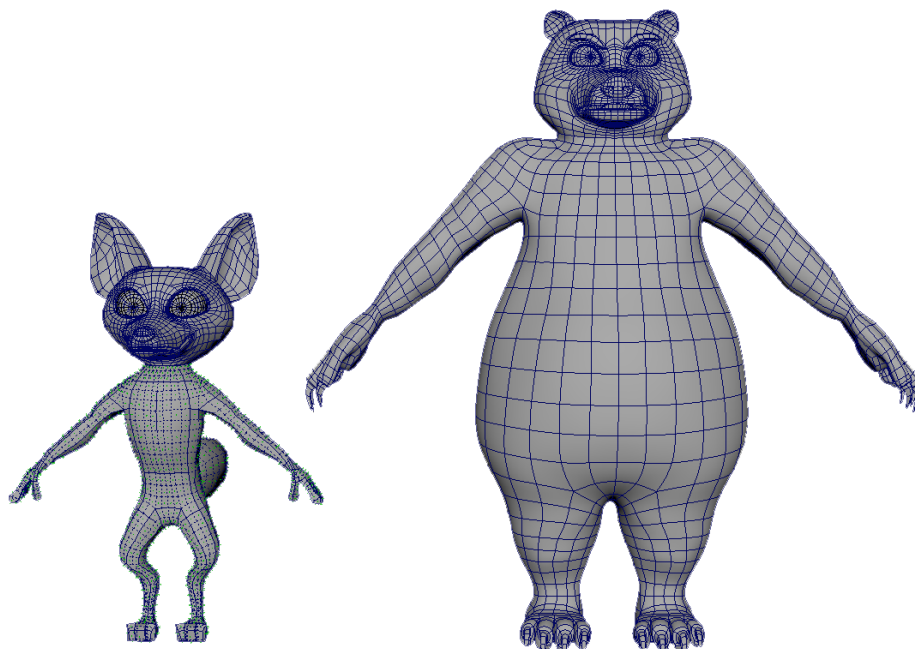


Figura 64. Modelo de Rapus junto al modelo de Urso. Comparación de altura.

(Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, conseguí tener a ambos personajes modelados completamente. Una vez ambos modelos estaban finalizados, es importante realizar el comando *“Modify > Freeze Transformations”* para que las transformaciones de escalado, translación y rotación realizadas en el modelo se reinicien (esto sirve para evitar todo tipo de problemas en el futuro) y Maya las interprete como las originales donde no se ha realizado “ninguna modificación”.

8.2. Texturizado de personajes

Una vez que los modelos han sido desarrollados, es el momento de dotarlos de la **capa de color y material** necesaria para que estos modelos luzcan de manera similar a su referencia. De momento sólo tenemos geometría vacía sin textura, así que ahora llega el momento de definir las diferentes “zonas” de la geometría y aplicar texturas sobre ellas para que podamos “ver” a nuestros personajes y no simples polígonos sin color.

Después de que terminar la fase de modelado, se puede comenzar a realizar las fases de texturizado y rigging de los personajes y, en un principio, es de las pocas situaciones en las que no debería haber problema en aplicar cualquiera de estas dos fases en cualquier orden debido a que no repercuten entre sí en principio, pero decidí comenzar por la fase de texturizado para visualizar a los personajes con sus texturas antes de intentar configurar su movimiento, pensé que esta era la forma más natural de desarrollar el personaje.

8.2.1. Creación de los mapas de textura en Maya (UV Maps)

Con el objetivo de poder visualizar una versión básica de las texturas lo antes posible, decidí crear las coordenadas UV (coordenadas de textura) establecidas cuanto antes y poder visualizar el modelo con más vida, lo cual pienso que es beneficioso a la hora de hacer el rigging.

Para poder aplicar texturas es necesario crear coordenadas de textura UV, utilicé el *“Uv Editor”* de Maya, con el fin de crear las coordenadas de textura para mis dos personajes. Lo primero de todo es realizar un *“Shift + Click Derecho > Unfold3d”* (similar a la opción *“Unwrap”* de *Blender*) que nos permite desplegar todos los polígonos de nuestro modelo de forma plana.

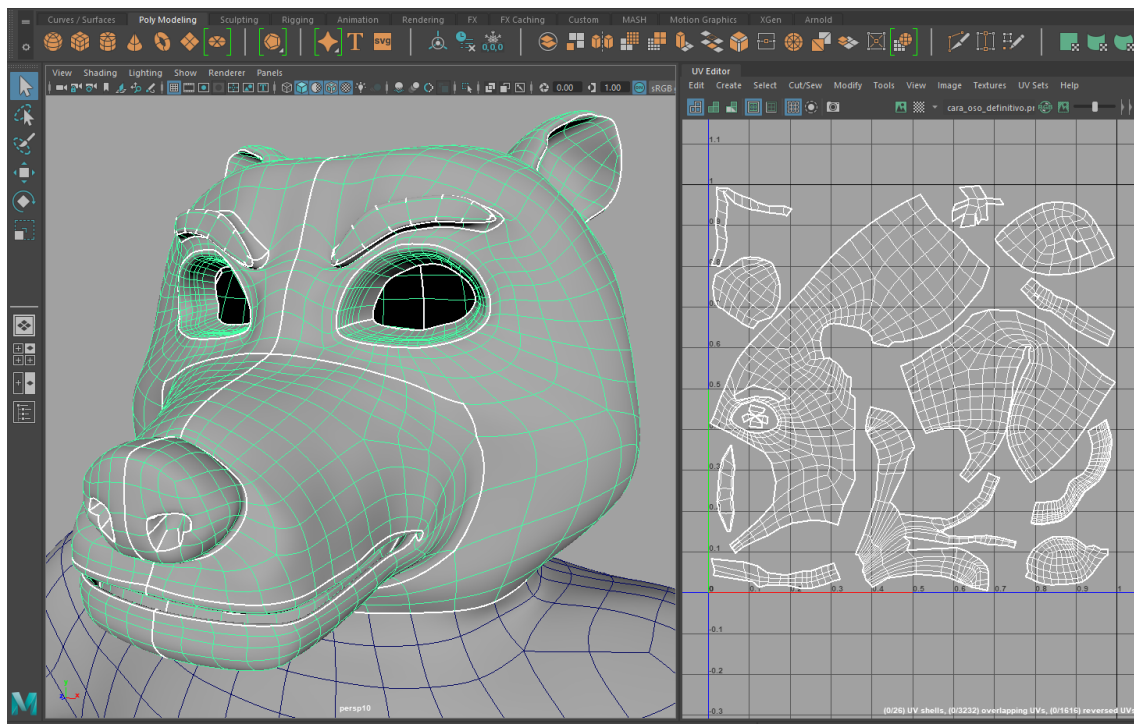


Figura 65. Captura de la interfaz de Maya con la vista de edición de UVs. A la izquierda se puede apreciar el modelo 3D con las líneas de corte o “seams” y a la derecha las diferentes “islas” de UVs.

(Fuente: Elaboración propia)

Para poder crear estas “islas” necesitamos realizar varios cortes en la geometría (“seams”). Para conseguir separar los polígonos en diferentes zonas de manera más fácil y para evitar pliegues, se utilizan las opciones de “Shift + Click Derecho > Cut” (cortar) y “Shift + Click Derecho > Sew” (coser). Cortando (“cut”) hacemos un corte que nos permite crear nuevas islas o cortes en la geometría y cosiendo (“sew”) podemos deshacer estos cortes.

También utilicé los siguientes comandos de Maya para la creación de mis mapas de textura:

- “Shift + Click Derecho > Optimize (Unfold 3D)” y “Pack” sirvieron para agrupar los diferentes conjuntos de UV de forma más organizada y aprovechar el espacio en general.
- El selector de “Click Derecho > UV Shells”, me permitió manipular directamente los conjuntos de UV de mi mapa de textura para reorganizarlos como quisiera.
- “Shift + Click Derecho > Stitch together” me permitió unir dos conjuntos de UV diferentes en uno solo.
- “UV > 3D Cut and Sew Tool” me ayudó a cortar y coser UV de forma dinámica en la vista 3D.

Además, decidí **separar las islas UV de la cabeza y el cuerpo**, de modo que tengo **una textura separada para cada uno** ya que decidí que la cabeza necesitaba más detalle y, por tanto, una textura separada. **Los ojos también tendrán otra textura separada** al tratarse de una geometría separada. Una vez estuve conforme con los mapas de textura, exporté en forma de imagen **.png** mis islas utilizando la opción *“Image > UV Snapshot...”* de la vista de edición de UV de Maya. Elegí exportar en formato .png debido que este formato aplica algoritmos mediante los que apenas se genera pérdida (*“lossless”*), es útil durante las fases de desarrollo y permite transparencia [115]. Esta imagen .png contiene en una imagen transparente los conjuntos de polígonos del mapa de textura, lo que me permite crear una imagen de textura utilizando como referencia el espacio que ocupa cada polígono. Las imágenes de las texturas tenían una calidad de **4k** píxeles cada una, la cual considero una resolución más que suficiente para crear las texturas.

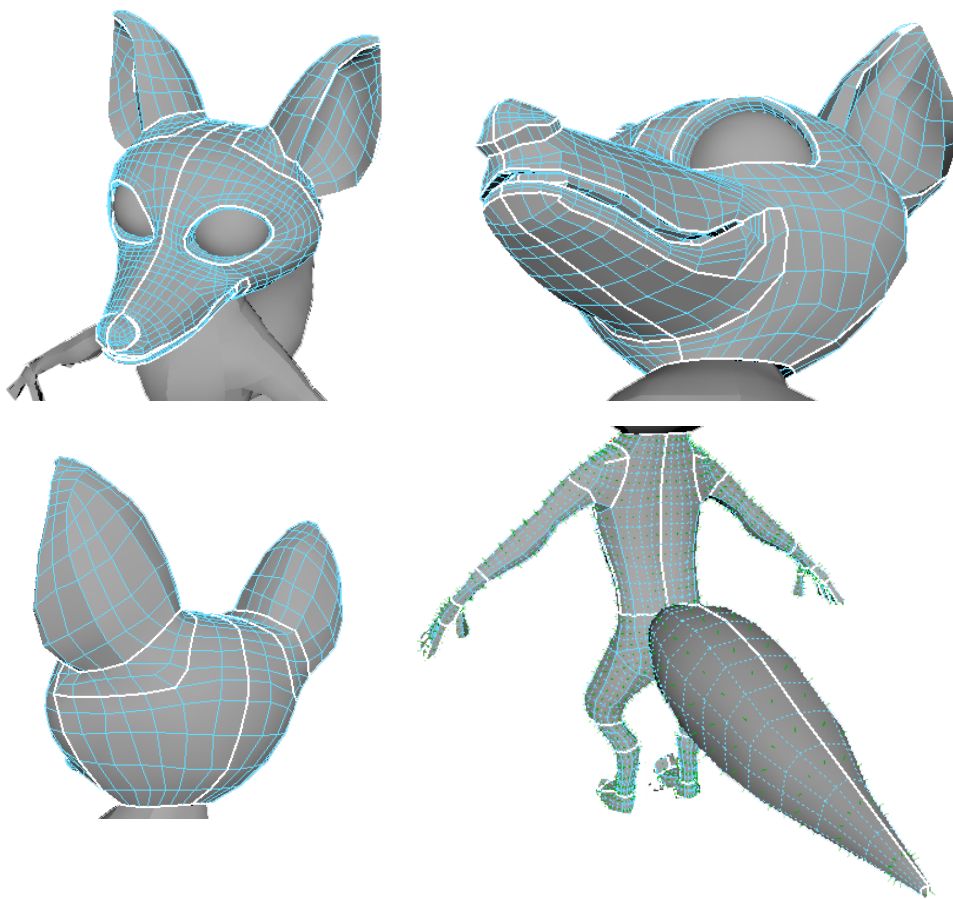


Figura 66. Detalles de los diferentes cortes o “seams” de Rapus.

(Fuente: Elaboración propia)

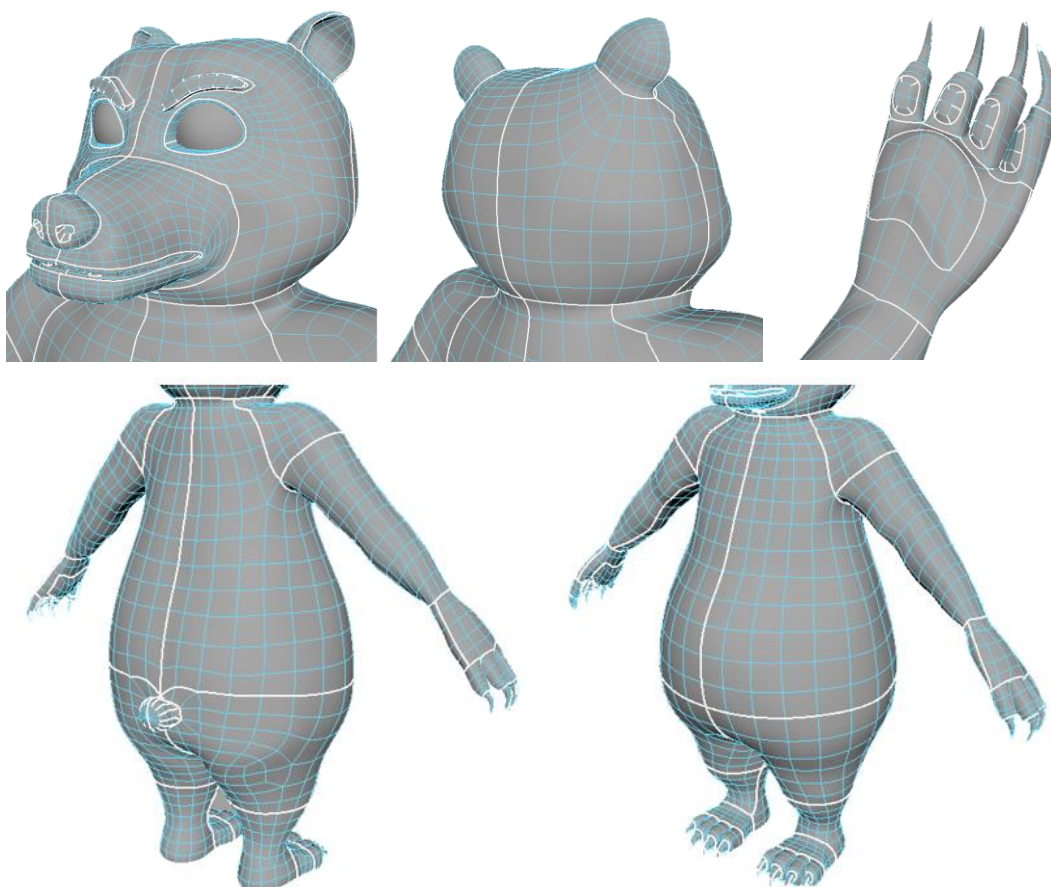


Figura 67. Detalles de los diferentes cortes o “seams” de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

8.2.2. Creación de las texturas preliminares en GIMP

Una vez que tenemos las imágenes de los mapas de texturas UV con sus islas, las llevé al programa de edición de imágenes “Gimp”. Allí, pude abrir estas imágenes como capas y trabajar sobre ellas. Al poner la imagen del **mapa de textura como referencia en una capa superior**, esto me permite **pintar mi textura en la capa de abajo** sabiendo que luego podré quitar la capa de referencia y quedarme sólo con mi textura. Estas texturas me servirían como texturas base, preliminar (también llamada “placeholder”) para ayudarme a discernir mejor las diferentes partes de los personajes, pero estas serán sustituidas por mejores imágenes creadas por diferente software más adelante.

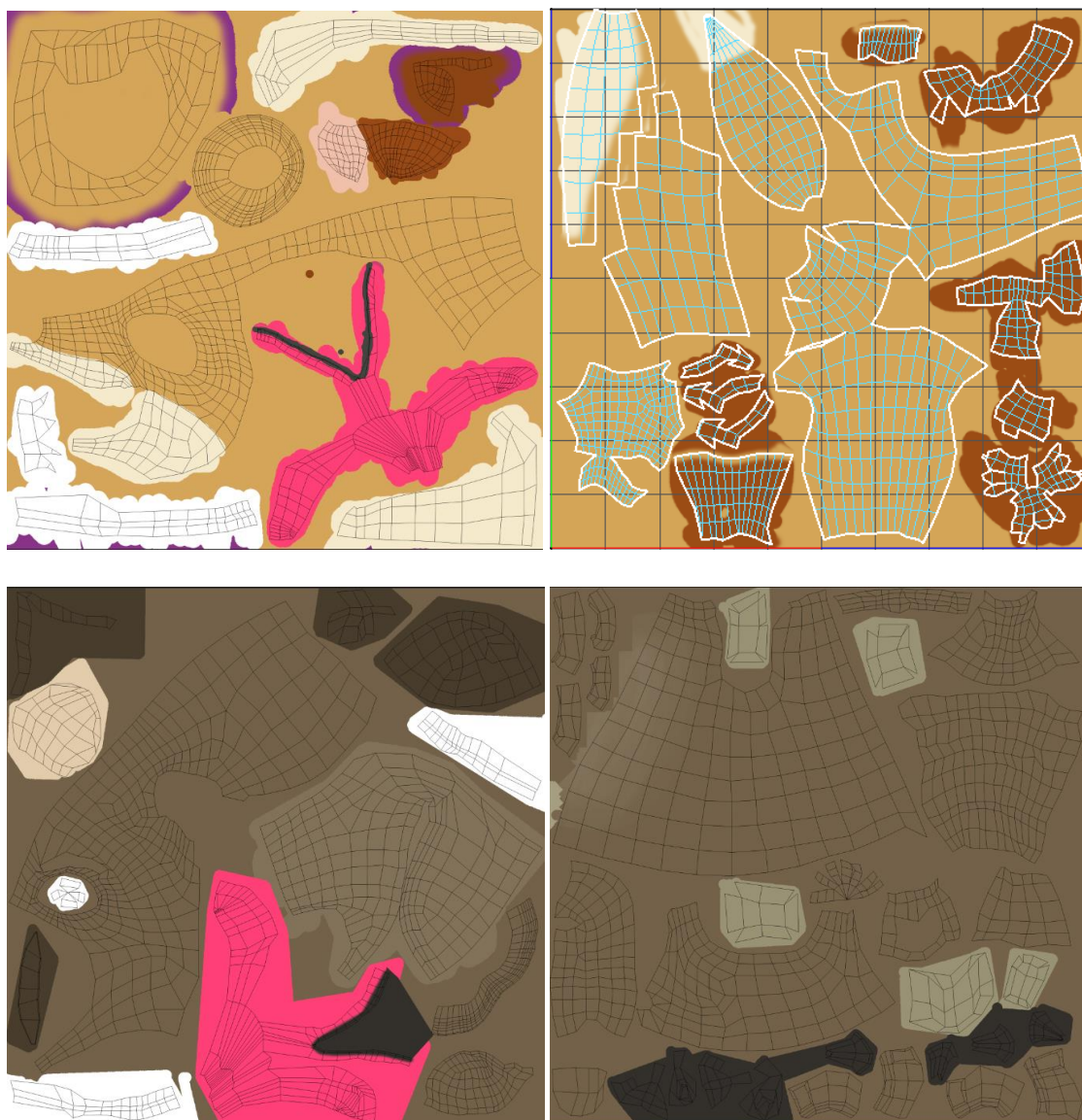


Figura 68. Texturas preliminares creadas en GIMP de Rapus (superior) y Urso (inferior).

(Fuente: Elaboración propia)

Debido a la naturaleza caricaturesca o infantil de los personajes, decidí utilizar colores planos y sencillos, lo más importante era enfocarse en que las transiciones entre colores no resultasen demasiado bruscas y pudiera distinguirse que se trataba de un zorro y de un oso. Lo importante era asegurarse de que las texturas ayudan a distinguir las diferentes partes de los personajes debido a que, aunque estas texturas son preliminares, les encontraré un **uso secundario** más adelante cuando se creen las texturas definitivas.

Para ser lo más fiel posible a las referencias de los personajes, utilicé la herramienta “cuentagotas” (selector de color de Gimp) para asegurarme de que siempre utilizo el color de la referencia a la hora de crear mis texturas preliminares. El único color que es diferente es el color

de los ojos de Urso, el cual es más rojizo en algunas zonas. De hecho, para crear la textura de los ojos (que al ser geometría que está separada en un objeto distinto tiene una textura independiente) intenté ser lo más fiel posible a cómo estos habían sido creados en el arte conceptual. **Estas texturas preliminares de los ojos serán muy útiles** para crear la versión definitiva de las texturas de los ojos, como veremos en apartados posteriores.

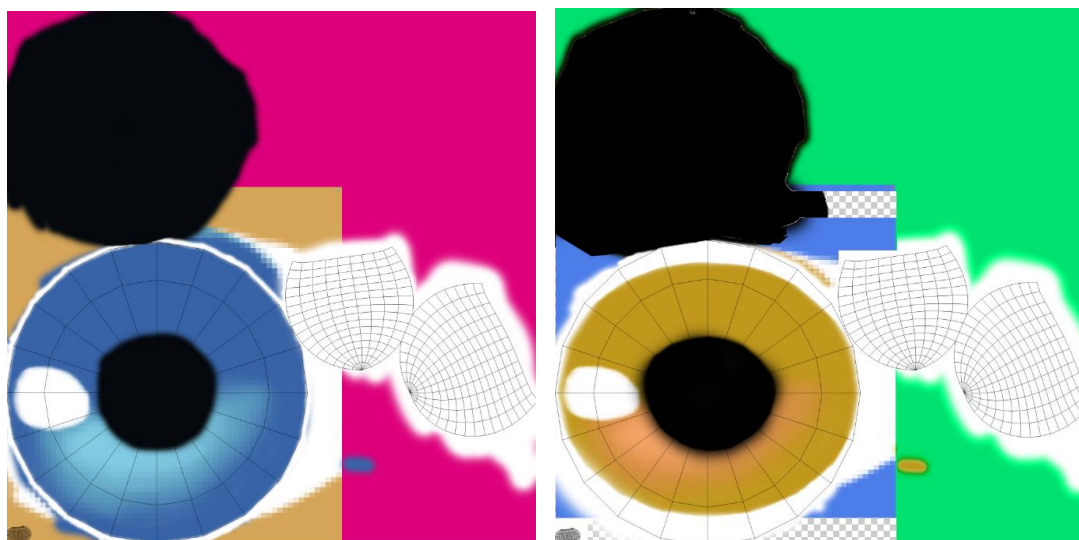


Figura 69. Texturas preliminares para los ojos de los personajes. Tienen su propia textura debido a que los ojos tienen su propio modelo separado del personaje.

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez que estuve conforme con los resultados, exporté las imágenes como hice con las texturas anteriores.

Para poder ver mis texturas preliminares en los personajes en Maya es necesario **crear materiales** a los modelos (uno para la cabeza, otro al cuerpo y otro a los ojos). Para ello, utilizo la opción “Click derecho > Assign New Material” de Maya para crear un material nuevo, tras lo cual Maya nos permite configurar varias opciones para este material. Lo que más nos interesa de este apartado, es seleccionar un **archivo de imagen** en lugar de un color para el relleno del material. Para seleccionar una imagen seleccionamos la opción “File” en el recuadro que abre Maya (tenemos que seleccionar “File” en el apartado “Color”) y seleccionamos la textura que queremos.

Por fin pude ver cómo quedaban mis modelos las primeras texturas tras crear los materiales necesarios. Pese a que no serán las texturas definitivas, ayudó mucho poder ver a los personajes cobrar vida para futuros procesos, para comprobar que los mapas UV funcionaban correctamente y para empezar a planear cómo crear las texturas definitivas.



Figura 70. Primera versión de los personajes protagonistas con sus texturas preliminares creadas en GIMP.

(Fuente: Elaboración propia)

8.2.3. Texturizado con Substance Painter

Las texturas preliminares realizadas con GIMP dotaban de un estilo simple a los personajes, y eran muy útiles para poder distinguir los diferentes elementos que componen los cuerpos de los personajes y comprobar que los mapas UV fueron creados correctamente. No obstante, mi idea original era que mis personajes poseyeran **cierto nivel de detalle** al mismo tiempo que se mantuvieran consistentes con un estilo **caricaturesco**.

Utilizando *Substance Painter* es posible crear texturas con este tipo de resultado. No sólo puedo ver el modelo texturizado a tiempo real (lo cual me ayuda a ver el resultado final y a corregir las imperfecciones que vea desde cualquier ángulo) sino que el programa me permite trabajar tanto sobre los mapas de texturas como encima del propio modelo, ofreciéndome mucha libertad y comodidad en el espacio de trabajo.

El programa incluye múltiples **materiales** que podemos utilizar para crear todo tipo de texturas muy detalladas (madera, metal, césped...) con una calidad muy profesional. Sin embargo, para este proyecto voy a necesitar algunos materiales que no vienen incluidos en el software base, se trata de materiales creados por la comunidad de “*Substance Share*” [89], los cuales son completamente libres para ser utilizados en todo tipo de proyectos (ya que poseen licencia *Creative Commons* “Attribution-ShareAlike 4.0 International” [106]). Indicaré todos los materiales obtenidos mediante esta plataforma.

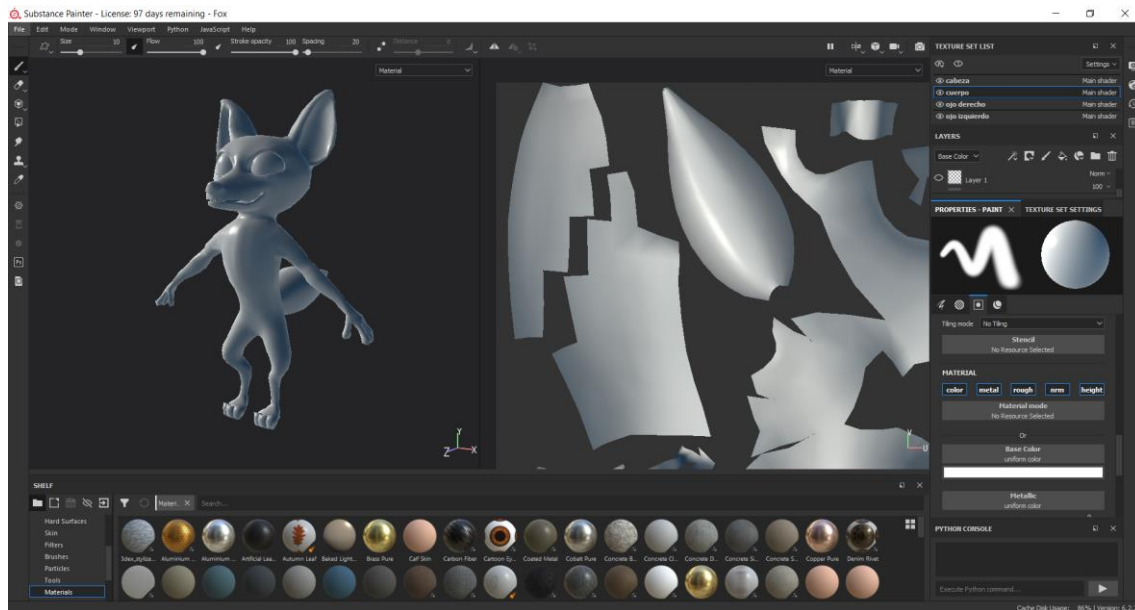


Figura 71. Espacio de trabajo en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

Se creó un nuevo proyecto con resolución (“*Document Resolution*”) de **4096** para hacerlo coincidir con las texturas **4k** (dimensión que definimos en el apartado anterior) de los personajes. Los personajes están divididos en 4 materiales (cuerpo, cabeza, ojo izquierdo y ojo derecho) y *Substance Painter* me separa ambos materiales en 4 capas de trabajo diferentes (se puede apreciar en la captura de pantalla en la zona de arriba a la derecha) para poder ir trabajando en cada una por separado.

Texturizado del cuerpo del zorro Rapus:

Para empezar el texturizado del cuerpo, lo primero que hice fue **añadir la textura preliminar** creada en GIMP al modelo, de modo que me sirva como referencia. Para ello, cree una capa de relleno (*fill layer*) y cambié el parámetro de color (“*Base Color*”) a una imagen de mi librería de

texturas. Además, bajé la opacidad de la textura original para que no fuese una molestia a la hora de añadir los materiales de verdad.

Algo que mis texturas básicas en GIMP no eran capaces de representar era la **gran presencia de pelaje** en mi personaje, **una necesidad extra en animales antropomórficos**, se trata de uno de esos elementos del proceso que distan de los seres humanos. Debido a que estamos trabajando con texturas y no editando la geometría es importante utilizar un material que me permitiera definir una textura similar al pelaje de un animal utilizando efectos visuales como el mapa de normales o el mapa de altura. *Substance Painter* tiene algunos elementos que podrían ayudarme a conseguir este efecto, pero investigando en la red encontré el material para *Substance Painter* creado por el artista de materiales francés *Romain Lemaire* [107], **“Fur Generator”** [108] [109]. Solicité a Romain en un correo la utilización de su material para mi proyecto, y en su respuesta me indicó que no había ningún problema con que lo utilizase para mi trabajo y daba su consentimiento.

Utilizando la opción de importar recursos (*“Import Resources...”*) de *Substance Painter*, pude importar el material de Romain Lemaire y aplicarlo sobre el cuerpo de mi personaje. Los materiales en este programa tienen una serie de opciones con las que podemos retocar el efecto que tienen sobre nuestro modelo (podemos modificar el color, la dureza del material, definir si queremos que se aplique sobre el mapa de normales o no...) y además algunos materiales tienen opciones de modificación adicionales como es el caso de **“Fur Generator”** [108], que permite modificar muchas de las características que definen el resultado final de la textura creada por este material.

Para conseguir un efecto de pelaje que resultase agradable sobre mi personaje, tuve que editar el color del pelaje modificando *“ImageInputs > ColorMap”* para hacerlo coincidir con el color anaranjado de mi personaje. Además, los mechones eran muy largos por lo que modifiqué el campo *“Parameters > Amount”* a 691. El material además traía activado por defecto un variador de color para que los mechones variasen ligeramente el color (*“Color > Color Variation Hue”*), para que el efecto de este cambio de color no fuese muy brusco, edité el valor de este parámetro a 0.02.



Figura 72. Alto nivel de detalle en la textura del pelaje de Rapus conseguido gracias a los materiales aplicados en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

Algo importante cuando se aplica un material a un modelo en Substance Painter es saber qué **rotación** quieres que tenga dicho material con respecto al mapa de textura (UV). Si yo aplicase el material sin cambiar la rotación de este sobre el mapa de textura, se vería distorsionado. El mapa de textura UV de mi personaje está creado de tal forma que el lado izquierdo y derecho del cuerpo están superpuestos el uno encima del otro debido al efecto “*mirror*” creado al modelar la geometría (este “problema” se puede solucionar sencillamente si hubiera separado los mapas de textura de ambos lados, pero decidí no hacerlo para que mis texturas ocupasen menos espacio y porque no pensé que esto fuese a tener consecuencias excesivamente negativas sobre mi modelo).

Esto quiere decir que si, por ejemplo, dibujo un punto rojo en la zona del hombro izquierdo, el hombro derecho tendrá el mismo punto rojo pintado. Por lo tanto, si no roto correctamente el material, ocurrirán resultados muy extraños en la textura como consecuencia de esta superposición del lado izquierdo y derecho en la textura (aunque también se puede aprovechar para crear resultados interesantes, como dar la sensación de que el pelo de la parte izquierda y derecha crece en dirección al centro). La rotación utilizada para el material fue de 29,34.



Figura 73. Ejemplo visual de la variación de la dirección en la que crece el pelaje de Rapus según el cambio en la rotación del material utilizado en Substance Painter (este efecto ocurre en consecuencia de la superposición de ambos lados del cuerpo en el mapa de textura UV al haber creado mi modelo con el efecto “mirror”).

(Fuente: Elaboración propia)

La zona frontal del cuerpo del personaje no sólo posee pelaje anaranjado, sino que también tiene zonas con pelaje blanco. Para poder conseguir este efecto, dupliqué la capa creada anteriormente del material “Fur Generator” [108]. Teniendo la misma predisposición que la capa anterior, únicamente cambié el color del pelaje por uno completamente blanco. Para poder sólo utilizar el pelaje blanco en las zonas deseadas, tuve que utilizar las máscaras de Substance Painter, las cuales permiten delimitar la zona del mapa de textura UV en la que se aplica un material, es decir, que este pelaje de color blanco sólo se aplicará a una zona delimitada, que tendré que hacer coincidir con la referencia que tengo de mi personaje. Para conseguir este efecto, utilicé una máscara negra de Substance Painter: por defecto este tipo de máscara hace que la capa o material no aplique en ninguna parte del mapa de textura UV. Para poder añadir a esta máscara zonas donde sí quiero que se aplique este material se pueden utilizar varias herramientas para modificación de la máscara, entre ellas simplemente utilizando la opción pincel o “Paint” activable pulsando el número 1 del teclado teniendo la máscara seleccionada. Esta opción de “Paint” hace uso de varios parámetros de la ventana de propiedades “Properties > Paint”, entre ellas la más importante es el tipo de Alpha a utilizar, pues es el tipo de “brocha” que voy a utilizar para modificar la máscara. Para hacer una transición suave y natural entre el pelaje amarillo y el blanco, utilicé el alfa “Shape” que es el que Substance Painter utiliza por defecto cuando utilizas la opción “Paint”. Haciendo uso de la máscara y el pincel que me permite definir su rango, pude delimitar una zona de pelaje blanco con una transición suave entre tipos de pelaje.

Las zona de las **manos** y los **pies** poseían otro tipo de pelaje diferente en mi referencia (castaño), por lo tanto tuve que utilizar otra capa diferente con el material “*Fur Generator*” [108] para poder delimitar este nuevo tipo de pelo. Utilicé una estrategia similar a la anterior para definir máscaras que cubriesen únicamente las zonas de manos y pies. Debido a la disposición de mi mapa de texturas UV, tuve que modificar el parámetro “*Scale*” de este “*Fur Generator*” para adecuarse correctamente a las manos y a los pies.

Se decidió añadir detalle adicional a la zona de la **palma de la mano** del personaje. Las patas de los zorros, así como la de muchos animales, gozan de una textura rugosa que me pareció interesante tratar de implementar. Para conseguir un efecto similar, utilicé un material encontrado en la plataforma Substance Share llamado “*Dog Nose*” subido por el usuario “t3r3nc3101” a la plataforma [110]. Este material imita la superficie de la nariz de un perro, pero sus parámetros pueden ser modificados para conseguir un resultado similar al que necesito. Específicamente, únicamente necesito el mapa de normales, por lo que desactivé el resto de elementos que el material trae consigo y únicamente utilicé el mapa de normales que permite incorporar a la textura. Este material, unido a una capa de color simple (*Fill Layer*) de color marrón, nos permite replicar el efecto de forma similar a la vida real.



Figura 74. Progresión del texturizado de la mano de *Rapus* en *Substance Painter*
(al no tomar esta imagen en *Maya*, la geometría no tiene “*smooth mesh preview*” activado).

(Fuente: Elaboración propia)

La **cola** del personaje está separada del cuerpo principal en mi mapa de textura UV, por lo que la orientación del pelo no coincide. Por tanto, se crearon dos nuevas capas para la cola del material “*Fur Generator*” [108] modificando la orientación y escala del pelaje. Para definir la zona blanca de la punta de la cola, se utilizó la misma técnica usada para definir la zona con pelaje blanco del pecho de mi personaje (utilización de una máscara negra o “*black mask*” modificada con la opción “*Paint*” cuya propiedad “*Alpha*” usa el tipo “*Shape*”).

Una vez que todos los elementos han sido colocados, se puede eliminar la textura temporal creada anteriormente y utilizar estos nuevos materiales para crear una textura nueva y más profesional.



Figura 75. Progresión completa del proceso de texturizado al cuerpo de Rapus en Substance Painter

(Fuente: Elaboración propia)

Texturizado de la cabeza del zorro Rapus:

El proceso de texturizado de la cabeza del zorro es muy similar al utilizado para su cuerpo, ya que se hace uso de prácticamente los mismos materiales. Se aprovechó la creación de la textura creada en GIMP, aplicándola en una capa de relleno (*Fill layer*) con la opacidad al 30% para servir de guía a la hora de aplicar el resto de los materiales sobre la cabeza del personaje.

La cabeza del personaje posee el **mismo tipo de pelaje que en el cuerpo**, por lo que se volvió a utilizar el material *“Fur Generator”* [108] usado para el apartado anterior, aplicado en varias capas con máscaras. Para mayor parte de la cabeza exceptuando nariz, boca, labios y orejas se utilizó este material con un color anaranjado, el mismo que el anaranjado utilizado para el cuerpo. El **hocico** del personaje es de color blanco en la parte inferior, por lo que se aplicó el material *“Fur Generator”* con color blanco con una máscara que cubría esta parte de la cabeza por encima del material anaranjado. Las **orejas** poseen dos colores: marrón y blanco. Para la parte interior de las orejas intenté recrear el pelaje blanco que crece en las orejas de los zorros, a pesar de que mi referencia utiliza un color rosado sin pelo dentro de las orejas, decidí que de esta manera mi personaje sería mucho más fiel a las características que presentan los zorros en la realidad.

Para el resto de los elementos de la cabeza se utilizaron materiales diferentes. Para la **nariz** se utilizó el material *“Dog Nose”* [110] ya utilizado en las patas de Zorro en la parte del texturizado del cuerpo. Para que este material sólo afectase a la zona de la nariz, tuve que crear una máscara negra con el mismo procedimiento que el utilizado para el texturizado del cuerpo y seleccionar sólo la geometría correspondiente a la nariz del animal. Este material permite definir **detalles** muy similares a los encontrados en la nariz de un perro, y se puede utilizar perfectamente para mi personaje. Por defecto, el tamaño de los detalles era demasiado grande al aplicarlo sobre la nariz, por lo que tuve que **cambiar la escala** del material de 1 a 3.937 (a más grande es esta escala, más pequeños se perciben los detalles debido a que la textura se repite 3.3937 veces, empezando de nuevo donde termina), al igual que cuando cambiábamos la rotación en las capas de pelo, cambiar correctamente el tamaño de las capas de material es muy importante para poder mostrar detalles en el modelo de la forma en que nos interesa.



Figura 76. Ejemplo visual de cómo la variación del parámetro “Scale” en un material de Substance Painter cambia el tamaño de los detalles aplicados a la nariz de Rapus.

(Fuente: Elaboración propia)

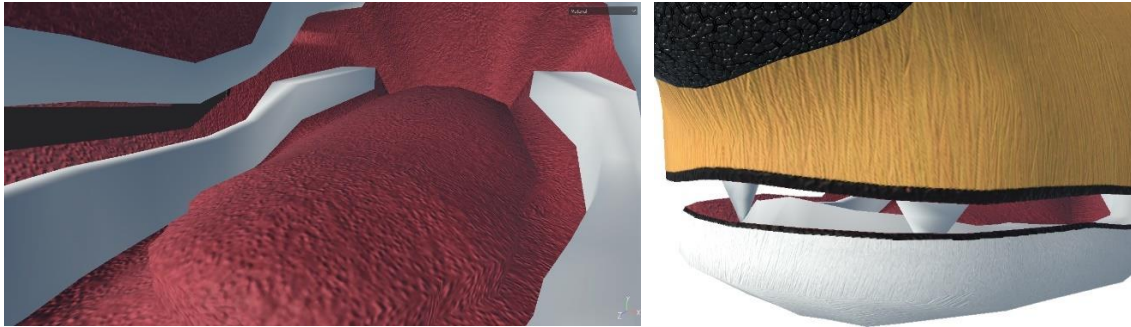


Figura 77. Detalle de los labios, dientes, lengua y garganta de Rapus en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

Para los **dientes** del Zorro hice uso de un material que Substance Painter implementa por defecto, **“Plastic Matte Pure”**. A pesar de que los dientes reales no están hechos de plástico, el efecto de color y reflejo contra la luz hace que el personaje posea unos dientes blancos muy brillantes. Para la zona de la **lengua**, hice uso de otro material encontrado en la plataforma “Substance Share” llamado **“Tongue Taste Buds”** subido por el usuario “evaughan” [111]. Este material posee un acabado muy apropiado para el interior de la lengua y para las zonas visibles de la **boca y garganta** del Zorro, para ello sencillamente cree un material de **“Tongue Taste Buds”**, modifiqué su escala para que los detalles del material no fuesen excesivamente grandes y lo apliqué a la zona de la lengua y garganta modificando una máscara negra. Los zorros poseen detalles de color negro alrededor de la zona de los labios, por lo que quise intentar emular este efecto en mi personaje creando otra capa con el mismo material (**“Tongue Taste Buds”**) pero esta vez modificando el color principal del material (por defecto rosado) a negro y creando una máscara negra aplicada únicamente a la geometría que hay alrededor de la boca, emulando unos labios.

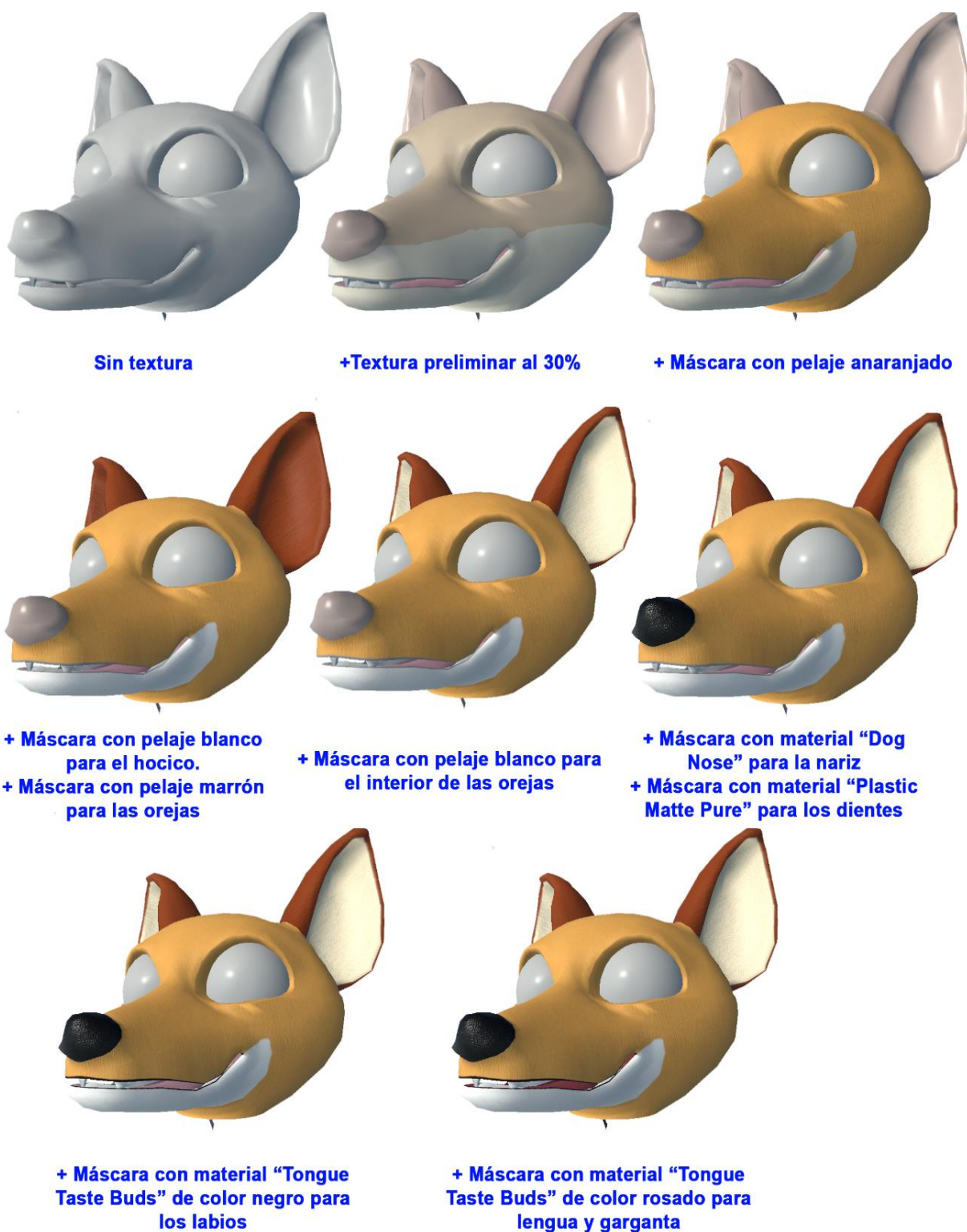


Figura 78. Progresión completa del proceso de texturizado a la cabeza de Rapus en Substance Painter

(Fuente: Elaboración propia)

Texturizado del cuerpo del oso Urso:

El texturizado de este personaje comparte **muchas similitudes** con el de Rapus, por lo que en varios casos se omitirán explicaciones extensas para evitar repetición. No obstante, sí existen **algunas diferencias**.

Al igual que para Rapus, este personaje hace uso de la **textura preliminar** creada en GIMP, lo que ocurre es que en este caso queremos que esta imagen sea completamente visible, con un 100% de opacidad (hacemos la técnica utilizada anteriormente con Rapus, crear una capa de relleno de color sólido y utilizando como fuente de color la imagen que contiene la textura preliminar). Si recordamos, para Rapus la opacidad de esta capa de relleno de color sólido se encontraba al 30% y además iba a ser de todas maneras oculta por otros materiales ya que simplemente iba a ser una referencia. El motivo por el que no hacemos esto mismo para Urso es debido a que se va a aplicar un nuevo material que proporcionará “efectos de pelaje” directamente sobre la imagen preliminar creada en GIMP, **preservando el color de la imagen preliminar pero añadiendo los efectos de pelaje por encima**. Es otro método para conseguir un resultado similar.

Para añadir pelo a este personaje, se utiliza otro material obtenido en la plataforma *Substance Share* llamado “**SP 1 Fur Cow Short**” subido por “*Allegorithmic*” a dicha plataforma [112]. El motivo por el que utilizamos este material en lugar de “*Fur Generator*” [108] es debido a que el pelaje de los osos es mucho más corto y se asemeja más al resultado obtenido con este material, mientras que “*Fur Generator*” se adecúa más a crear pelaje largo que es más apropiado para el otro personaje. Una vez descargado el material e importado al programa, se crea una máscara con este material por encima de la textura preliminar, pero esto hace que desaparezcan los colores de la textura preliminar los cuales queríamos mantener. Para preservar la textura del pelo, pero no sustituir el color, hay que entrar a las propiedades del material y desactivar el parámetro “*color*”, manteniendo solo el resto de canales activos (de esta manera, **mantenemos los efectos de pelaje** creados a raíz de modificar el mapa de normales pero **preservando el color** que conseguimos gracias a la textura preliminar original creada en GIMP). Debido a que no me convencía el resultado obtenido, cree además una capa de color sólido marrón al 50% de opacidad para realizar una sutil corrección de color que hace que el personaje, en mi opinión, luzca mucho mejor.

Se aplicaron otros dos materiales para dotar a las **zarpas** de Oso de un mayor nivel de detalle. Para simular el efecto de la **piel mullida** que se encuentra en las zarpas de los Osos, decidí volver a hacer uso del material “*Dog Nose*” [110] que ya hemos utilizado varias veces en Rapus para

simular el efecto de la zarpa de Urso. Además, para dar a las **garras** un efecto más similar al que tienen los osos en la realidad, decidí aplicar a las garras de manos y pies el material **“Plastic Dirty Scratched”** que viene preinstalado en Substance Painter.



Figura 79. A la izquierda, progresión del texturizado de la zarpa y garras de Urso. A la derecha, muestra del nivel de detalle alcanzado en la garra gracias a los materiales.

(Fuente: Elaboración propia)

Después de aplicar todos los materiales al mismo tiempo, el cuerpo de Urso estaba completamente texturizado, el trabajo me resultó más sencillo que con el primer personaje, debido a que había que aplicar técnicas similares y a que ya había cogido práctica con el software.



Sin textura



+ Textura preliminar (GIMP) al 100%



**+ Máscara de pelaje ("Fur generator")
sin color sólido (transparente).**



**+ Máscara con color sólido marrón al 50%
(para corrección de color).
+ Máscara con material "Dog Nose" para los
detalles de las zarpas.
+ Máscara con material "Plastic Dirty
Scratched" para los detalles de las garras.**

Figura 80. Progresión completa del proceso de texturizado al cuerpo de Urso en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

Texturizado de la cabeza del oso Urso:

Para texturizar la cabeza de este personaje, se utilizaron las mismas técnicas y materiales que los utilizados en el texturizado del cuerpo de Urso y en el texturizado de la cabeza del zorro Rapus.

Para añadir **pelo** a la cabeza seguí los mismos pasos que utilicé para el cuerpo, primero creando una capa con la textura preliminar y por encima una capa de pelo con el material **“SP 1 Fur Cow Short”** [112] con la propiedad **“color”** desactivada, esto nos deja la cabeza con el color de la textura preliminar pero con los efectos de pelaje aplicados y visibles.

Al igual que para el zorro Rapus, decidí dotar a la **nariz** detalles adicionales con el material **“Dog Nose”** [110]. Aplicando exactamente las mismas técnicas que las descritas para texturizar la nariz de Zorro conseguí un resultado más detallado y estilizado para la nariz.

Para la lengua y garganta también seguí las técnicas utilizadas para texturizar la cabeza del zorro Rapus, aplicando una máscara en el material **“Tongue Taste Buds”** [111] de color rosado englobando la zona de **lengua y garganta**. Utilicé otra máscara de este material pero con color negro para añadir el detalle de los **labios** negros.



Sin textura



+ Textura preliminar al 100%



**+ Máscara con pelaje
sin color sólido
(transparente)**



**+ Máscara con material “Dog Nose”
para la nariz
+Máscara “Tongue Taste Buds” rosada
para lengua y garganta, y otra máscara
con este material en negro para labios**

Figura 81. Progresión completa del proceso de texturizado a la cabeza de Urso en Substance Painter

(Fuente: Elaboración propia)

Texturizado de los ojos de ambos personajes:

Para texturizar los **ojos** de los personajes decidí aprovechar la **textura preliminar** de los mismos creada con GIMP en apartados anteriores. Para empezar, apliqué dicha textura completamente en los ojos de mi personaje creando una nueva capa de relleno (*fill layer*) y modificando el parámetro “*Color*” por la textura preliminar creada en GIMP.

Para añadir más detalle a los ojos, exploré los materiales disponibles en *Substance Share*, y decidí hacer uso del material “***Eyeball Cartoon***” del usuario “Zack xia” [113]. El nivel de detalle que ofrece este material es impresionante. Sin embargo, al crear una capa nueva, crear una máscara, escalar el material y posicionar la textura en el lugar correcto; el ojo del personaje era **demasiado realista** en comparación al resto de su cuerpo. Para solucionar esto, decidí sólo hacer uso de este material al **50% de opacidad**. También recorté de la máscara la región del Iris que pinté para simular el reflejo de la luz sobre el ojo del personaje, de modo que los detalles que ofrece este material no se aplicasen sobre la zona con iluminación blanca del iris. La combinación de uso de la textura preliminar (que a su vez utiliza la textura de los ojos de la referencia original del personaje) con el material “*Eyeball Cartoon*” dota a los ojos de un estilo único sin cruzar el límite del realismo excesivo.

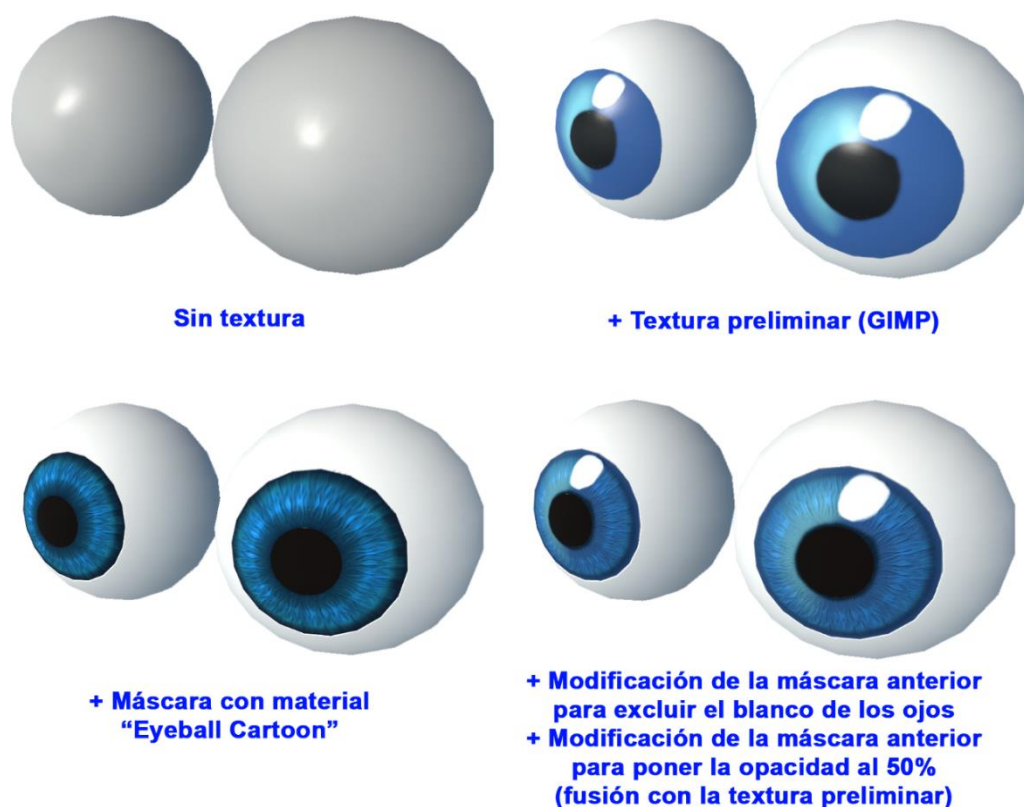


Figura 82. Proceso de texturizado de los ojos de Rapus en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

Resultados finales del texturizado en Substance Painter:



Figura 83. Resultado de los personajes tras crear sus nuevas texturas en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)



Figura 84. Resultado final de los rostros de los personajes en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

8.2.4. Exportar las texturas con Substance Painter

Tras la creación de las texturas en *Substance Painter*, es necesario **exportar** todas las imágenes con los datos de las texturas para poder incorporarlos de vuelta a nuestro proyecto de Maya.

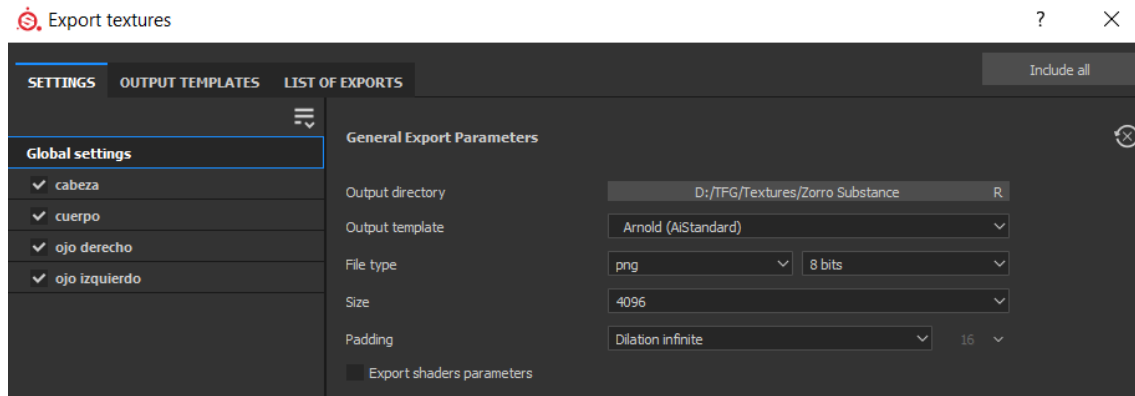


Figura 85. Ventana de exportación de texturas en Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

Substance Painter pone a nuestra disposición un menú donde podemos realizar estas operaciones de exportado de texturas en “*File > Export Textures...*”. En este apartado hay varias opciones que hay que configurar para conseguir el resultado esperado en las imágenes exportadas [114]:

- En la parte izquierda de la ventana, marcaremos todas las diferentes partes del modelo. En mi caso el modelo estaba separado en cabeza, cuerpo y ojos (debido a que estos fueron elementos que se modelaron por separado, y cree un material único para cada uno en Maya). De esta forma, exportaremos todos los diferentes mapas de textura de cada una de estas partes por separado.
- Nuestro **output directory** es la carpeta donde se guardarán los diferentes mapas de textura, cada mapa se exportará como una imagen [114].
- El **output template** es una serie de parámetros predefinidos acerca de qué mapas de textura van a ser exportados a partir de los materiales que hemos utilizado en nuestro proyecto de Substance. Se pueden editar manualmente en el apartado Output Templates para elegir mapas de textura adicionales. El nombre de los output templates en su mayoría tiene el nombre de diferentes aplicaciones y motores de renderizado, por lo que debido a que quiero visualizar mi modelo en Maya 2018 utilizando el motor de

renderizado Arnold elegiré el output template con el nombre “**Arnold (AiStandard)**”. Si observamos las características de este output template en la pestaña con el mismo nombre, veremos que nos sirve para exportar, entre otros, los mapas de **color** base, **normales**, **metal**, dureza (**roughness**)... Estos mapas se exportarán en forma de **imágenes**.

- En el **file type** o tipo de archivo elegí **.png** debido a que aplica algoritmos mediante los que apenas se genera pérdida (lossless), y es útil durante las fases de desarrollo [115].
- El **size** o tamaño de las texturas es **4096 (4k)** debido a que es el utilizado en apartados anteriores.
- **Dilation** permite rellenar píxeles en las zonas vacías de una textura generada si marcamos la opción como “*dilation infinite*”. Debido a que nuestras texturas cubren completamente las caras del modelo no es necesario, por tanto, elijo “*dilation finite*” para no rellenar con píxeles innecesarios la imagen y ocupar más espacio en disco. [114]

Una vez que todos estos parámetros están configurados, podemos exportar las texturas. Una vez que termine el proceso de exportación todas las texturas en formato .png estarán en nuestro *output directory*. Estas imágenes son las que utilizaremos para mejorar considerablemente el aspecto de nuestros modelos en Maya.

8.2.5.Implementación de las texturas en Maya con el motor de renderizado Arnold

Maya nos permite hacer que nuestras texturas luzcan mucho mejor gracias a dos potentes herramientas: **Smooth Display (“smooth mesh preview”)** y el **renderizador Arnold**.

“**Preview Smooth Display**” o “**Smooth Mesh Preview**” es una de las herramientas que se utilizó para realizar el modelado de nuestro personaje, nos permite observar cómo nuestro personaje aplica subdivisiones al modelo sin realizar ningún cambio definitivo sobre el mismo [116] (teniendo nuestro modelo con bajos polígonos pero pudiendo crear una visualización de altos polígonos a la hora de modelar o de realizar un renderizado con Arnold) y debido a que el **renderizador Arnold** tiene la opción “**Use Preview Level for Rendering**” nos permite que los renderizados finales que hagamos con este motor de renderizado apliquen esta subdivisión al

modelo sin tener necesariamente que aplicar cambios en el modelo [117]. Con esto, podemos tener todavía un modelo de **baja carga poligonal** para trabajar de forma más fluida pero tener un modelo de alta carga poligonal para que los resultados del renderizado se vean lo más espectaculares posible.

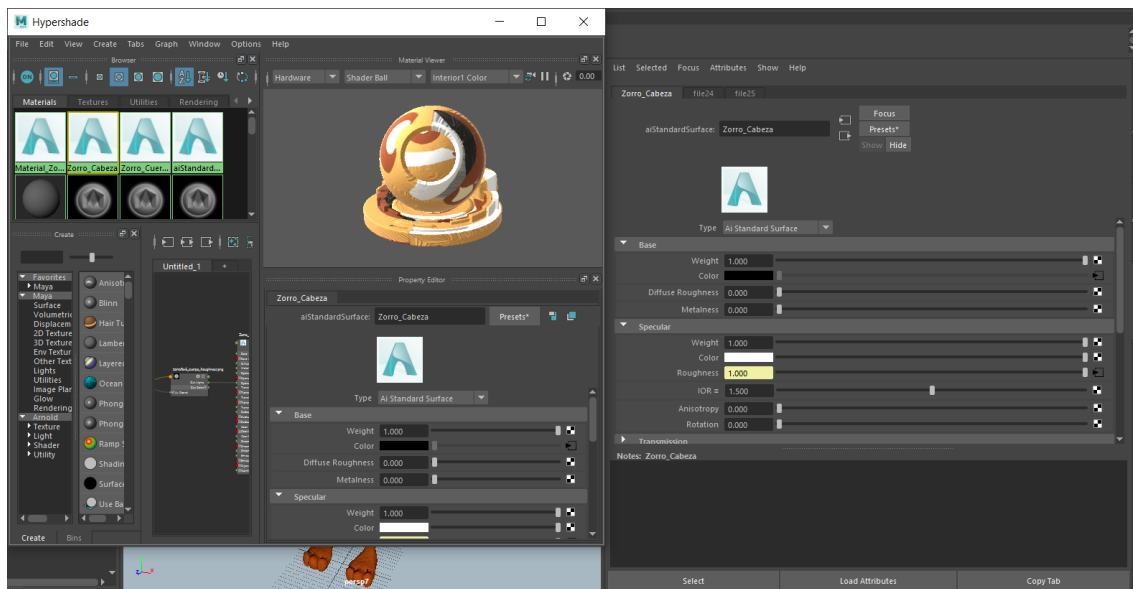


Figura 86. Ventana de “Hypershade” junto a la ventana de propiedades de un material en Maya.

(Fuente: Elaboración propia)

El modelo de la cabeza y cuerpo de los personajes fue creado por separado antes de unirlos, y a consecuencia de esto (y por decisión propia) ambos tienen coordenadas UV y texturas separadas como hemos visto en apartados anteriores, por lo que ambos tendrán también un **material de Maya separado para cada uno** (los ojos también tendrán otro al ser geometría separada). El primer paso es seleccionar todas las caras correspondientes a la cabeza y pulsar “Click Derecho > Assign New Material...” para crear un material nuevo. En la ventana de creación de un material hay una sección dedicada al renderizador Arnold con materiales compatible con el mismo, por tanto, se decidió elegir el material “**aiStandardSurface**” (material para Arnold) para editar manualmente los parámetros y adaptarlos a las necesidades de los personajes. Además del material para la cabeza, se crearon otros dos materiales adicionales: uno para el cuerpo y otro para los ojos.

Una vez creados los materiales, los podemos encontrar en la ventana especial de Maya llamada “**Hypershade**” para localizarlos de forma más fácil y configurar los materiales con diferentes parámetros. La ventana de “**Hypershade**” permite conectar nodos, materiales, texturas y otros elementos para conseguir diferentes resultados a la hora de renderizar un objeto [118].

Necesitamos aplicar a los materiales de Maya las imágenes (**texturas**) que hemos exportado en Substance Painter, ya que estas imágenes poseen toda la información necesaria para que los materiales luzcan, reflejen la luz y actúen en general tal y como hemos definido en Substance Painter. El material del cuerpo y del material de la cabeza se editaron de forma idéntica, modificando los siguientes parámetros del material *“aiStandardSurface”*:

1. En el apartado **“Base”** se modificó el parámetro *“Weight”* (permite cambiar el *“peso”* del color [120]) de 80 a 100. De esta manera, el color base de la textura se verá reflejado de forma 100% fiel a la textura original. Además, se modificó el parámetro *“Color”* (el cual determina cómo de brillante es la superficie y qué componentes RGB no son absorbidos por la luz cuando golpea la superficie [120], lo cual permite definir colores sólidos o imágenes para que se vean representadas) para que utilizara un archivo externo, que será uno de los archivos de textura exportados con Substance Painter. Esto se realiza pulsando el icono de la derecha (*“Create Render Node” > 2D Texture > File*), lo cual nos lleva a la ventana *“File Attributes”* donde podemos modificar las características de la imagen importada [121]

Se selecciona la **imagen** adecuada a importar en el apartado *“File Attributes > Image Name”*. Debido a que la imagen que buscamos está en el apartado *“Base”* elegimos la imagen exportada de Substance Painter con sufijo *“(…)_BaseColor”*.

2. Similar al punto anterior, en el apartado **“Specular > Roughness”**. En este apartado es donde podemos establecer la intensidad de la reflexión especular de la luz sobre la superficie [122] (de modo que podemos manejar la intensidad con la que un material refleja la luz), estos valores a su vez los conseguiremos a través de los datos de una de las imágenes exportadas con Substance Painter. Para hacerlo se pulsa el icono de la derecha (*“Create Render Node” > “2D Texture” > “File”*) y en la ventana de File Attributes se elige en el apartado *“File Attributes > Image Name”* la **imagen** exportada de Substance con sufijo *“(…)_Roughness”*.
3. Al igual que en los pasos anteriores, modificaremos el apartado **“Geometry > Bump Mapping”**, el cual nos permite perturbar las normales del material para crear el efecto de bump mapping (concepto explicado en el apartado del marco teórico 2.3.2 Texturizado). Pulsando el icono de la derecha (*“Create Render Node” > “2D Texture” > “File”*) y después en la ventana de File Attributes indicamos en el apartado *“File Attributes > Image Name”* que queremos utilizar la **imagen** exportada de Substance con sufijo

“(…)_Normal”.

Sin embargo, en este caso también es **muy importante** cambiar la opción llamada “**Color Space**” de la ventana File Attributes y cambiarla por “**Raw**” (tal y como especifica Autodesk en la documentación de Arnold [123]), no marcar esta opción me ocasionó muchos problemas ya que en el principio el “**Color Space**” estaba definido como “**sRGB**” en lugar de “**Raw**”.

Para el material de los **ojos**, realizamos todos los pasos anteriores y además añadimos el siguiente:

4. Para añadir un efecto más realista añadimos un pequeño efecto de reflectancia, que se consigue modificando el parámetro “**Weight**” del apartado “**Coat**” de 0.0 a 0.4. El apartado “Coat” no es otra cosa que dotar de una especie de “revestimiento” al material [125], de modo que podemos añadir esta reflectancia por encima del resto de parámetros que hemos definido previamente en el Ojo de modo que se crea una capa de revestimiento reflectante alrededor del resto de material. De esta manera, el ojo adquiere un efecto que lo hace mucho más realista y estilizado al tener una capa ligeramente reflectante envolviéndolo, reflectando parte de la luz que se incide sobre él.

Una vez que todos los materiales han sido correctamente implementados en el modelo, podemos ver su resultado realizando un **render con Arnold**, para obtener una **imagen** de los modelos haciendo uso del motor de renderizado. Para poder ver cómo quedan los modelos utilizando la iluminación y el renderizado de Arnold (de modo que podamos ver cómo nuestras texturas se han traspasado a Maya) tenemos que añadir **iluminación básica** y renderizar un fotograma con Arnold. Para que el render no saliera completamente oscuro, se añadieron un par de luces básicas de Arnold a la escena (los detalles sobre cómo añadir y configurar la iluminación para renderizar en Arnold los veremos en un apartado futuro de la memoria). Para renderizar con Arnold, basta con utilizar la opción “**Arnold > Render**”.

Podemos apreciar que las texturas mantienen el nivel de detalle que han conseguido en Substance Painter, pero además el motor de renderizado Arnold, la iluminación de la escena y la configuración de los materiales aiStandardSurface en Maya consiguen que los personajes tengan un aspecto mucho mejor que antes. Se pueden apreciar todo tipo de detalles en estos renders: cómo la iluminación es diferente en las partes donde los personajes tienen detalles que dan la impresión de una fina capa de pelaje gracias a las nuevas texturas con mapas de normales

exportados de nuestro proyecto de Substance Painter, cómo los ojos poseen reflectancia gracias a los parámetros de “Coat” configurados en Maya, etcétera.

Resultados de las texturas de Substance Painter en Maya con el renderizador Arnold:



Figura 87. Render final de Rapus con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.

(Fuente: Elaboración propia)



*Figura 88. Render final de Oso con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.
(Fuente: Elaboración propia)*



Figura 89. Render de los rostros de los personajes con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.

(Fuente: Elaboración propia)

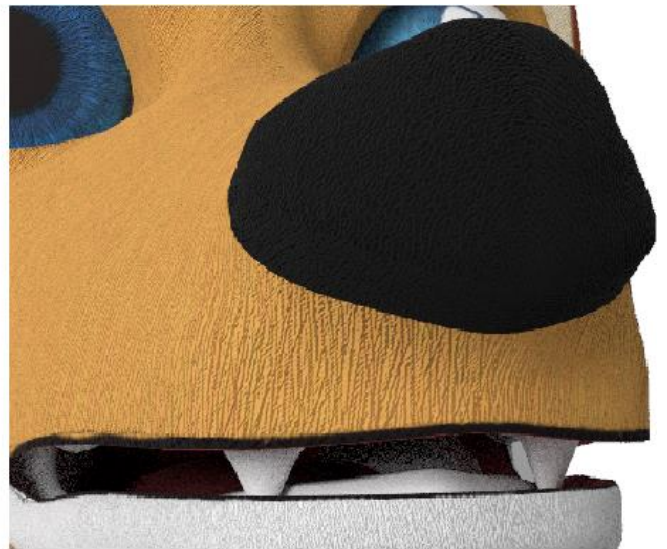


Figura 90. Renders de los detalles de Rapus con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold.

(Fuente: Elaboración propia)



*Figura 91. Renders de los detalles de Urso con sus nuevas texturas en el renderizador Arnold
(Fuente: Elaboración propia)*

8.2.6. Corrección de errores en las texturas

Estos pequeños cambios se aplicaron prácticamente al final del proyecto.

Durante las últimas fases del desarrollo, me di cuenta de que algunos de los elementos utilizados en las texturas no coincidían con los bocetos de los personajes. Por lo tanto, decidí hacer unos pequeños ajustes a los personajes para conseguir finalmente su resultado final.

A Rapus se le añadió más pelaje blanco en el hocico y este ahora hace una transición más suave entre las zonas de pelo amarillo y blanco. Además, se añadió una fina línea negra para representar sus cejas.

A Urso no se le hizo ningún cambio destacable salvo reducir ligeramente el tamaño de los ojos para ser más fiel al boceto 2D original.



Figura 92. Corrección de errores en las texturas de Substance Painter.

(Fuente: Elaboración propia)

Los arreglos en las texturas no suponen un gran problema a diferencia de otras fases del desarrollo de la “pipeline de la animación” o tubería de producción que no pueden retocarse tan a la ligera. Una vez realizados estos cambios, se procede a la implementación de pelaje.

Estas texturas definitivas podrán apreciarse a partir del apartado 8.5. Efectos especiales: Pelaje VFX con Xgen Interactivo (Fur Grooming) y 9. Resultados

8.3. Rigging de personajes

Uno de los objetivos clave de este trabajo es **preparar a nuestros personajes para ser animados**, es decir, **dejar a los personajes listos con todos los sistemas y herramientas** necesarios para poder moverlos y animarlos.

8.3.1. Fase de creación de los esqueletos

El primer paso para empezar con el proceso de Rigging consistirá en crear un **esqueleto** para nuestros personajes, conformado por huesos o **joints** cuyo cometido es controlar geometrías determinadas del modelo. Para obtener más información sobre todos los elementos relacionados con el proceso de Rigging, se recomienda consultar el apartado del estado del arte llamado 2.3.3. Rigging y Skinning

Lo primero que hice fue cambiar mi espacio de trabajo a “*Rigging*” en Maya, lo que cambió la barra de herramientas por otras más relevantes. El objetivo era crear joints para las diferentes articulaciones y puntos de movilidad que queremos que tenga el “esqueleto” de nuestro personaje. Me basé en el trabajo de otros artistas para definir el número de joints necesario [127] y también lo decidí en base a las necesidades de mis personajes. Establecí un número mínimo de joints necesarios para cada personaje y cree un pequeño diagrama que relacionaba todos los joints entre sí previo a la implementación en Maya.

Uno de los objetivos de este trabajo es adaptar los procesos a las **necesidades particulares de los animales antropomórficos**, y este es uno de los momentos en los que desarrollar un personaje de este tipo supone un problema a resolver: el personaje zorro, Rapus, **tiene una cola** que debería ser articulable al igual que cualquier extremidad, y para poder moverse **va a necesitar que definamos huesos o joints en el esqueleto para poder moverla**. En este momento fue donde descubrí que realizar personajes con características de animal puede suponer tener que desarrollar huesos extra para este tipo de elementos. Por contraparte el oso, Urso, no tiene ningún elemento que diste de un ser humano normal y corriente.

Los joints que finalmente implementé para cada personaje son:

- **Joints para el zorro:** 1 joint para la cadera, 2 para las piernas, 1 para la rodilla, 1 para cada pie, 2 para controlar los dedos de los pies, 3 para la columna, 2 para el cuello, 1 para la cabeza, 1 para cada clavícula, 2 para cada brazo, 1 para cada mano, 4 para cada dedo de la mano, 13 para la cola.

- **Joints para el oso:** 1 joint para la cadera, 2 para las piernas, 1 para la rodilla, 1 para cada pie, 2 para controlar los dedos de los pies, 3 para la columna, 2 para el cuello, 1 para la cabeza, 1 para cada clavícula, 2 para cada brazo, 1 para cada mano, 3 para cada dedo de la mano.



Figura 93. Esquema con los diferentes joints utilizados para el esqueleto del zorro Rapus. Las flechas apuntan a los hijos de cada joint.

(Fuente: Elaboración propia)

Es importante tener suficientes joints para poder articular el personaje cubriendo todas las diferentes extremidades y partes del cuerpo. Por ejemplo, no puedo poner únicamente un joint para todo un dedo de la mano si pretendo doblarlo, lo mismo pasa con un brazo.

Algunos detalles que creo importante esclarecer sobre el diagrama anterior (Figura 93. Esquema con los diferentes joints utilizados para el esqueleto del zorro Rapus. Las flechas apuntan a los hijos de cada joint.): El esquema de joints del oso Urso es igual que el de zorro excepto porque al no tener cola no tiene joints de cola, y además tiene **un joint menos para los dedos** de las manos comparado con el zorro porque sus dedos son más pequeños y no necesitan tanta movilidad.

En el esquema, la cabeza no posee más joints debido a que el movimiento de varias zonas de la cara concretas se realizará mediante blend shapes que alterarán la forma de la cabeza y no

tienen nada que ver con el esqueleto del personaje (ver apartado 8.4 Animación facial (Blend shapes)).

Utilizando este esquema como base, se puede empezar a trabajar en Maya. El primer paso para evitar problemas es utilizar la opción *“Modify > Freeze Transformations”* en nuestro modelo, lo que hace que el modelo vuelva a tener las propiedades de traslación, escalado y rotación como si no lo hubiéramos transformado nunca. Una vez hecho esto, guardé el modelo en otra capa con *“Display > Create Layer”* y guardé el modelo haciendo click derecho y en la capa y pulsando *“Add Selected Objects”*. Con esto, puedo tener el modelo de fondo sin que me moleste a la hora de crear el esqueleto. Para crear el esqueleto, decidí utilizar como refuerzo la guía de *“3dEx”* en YouTube [127], el cual es un usuario que se dedica a subir múltiples vídeos relacionados con el modelado, texturizado y rigging en Maya. En su serie de vídeos de rigging de personajes en Maya encontré información que me permitió esclarecer algunos pasos clave en el Rigging de personajes.

Para empezar la **creación del esqueleto**, utilicé la herramienta *“Skeleton > Create Joints”* para crear los diferentes joints de los que este se compondrá. Al hacer click con esta herramienta, se crea un joint. Si vuelves a hacer click, este joint se creará como hijo del primero. Para hacer padre/hijo a dos joints cualquiera, simplemente puedo pulsar la tecla *“P”* (*parent*). Empecé por crear los joints de las piernas, pies y cadera del personaje. Utilicé la herramienta *“Skeleton > Mirror Joint”* con las opciones *“YZ”* y *“Behaviour”* para poder reflejar en el eje X los joints que había creado, y de ese modo ahorrarme el tener que crear los joints de un lado u otro. A los joints de la izquierda, similar a como lo hace en su tutorial el usuario *“3dEx”*, les puse el prefijo *“L_”* y a los de la derecha, *“R_”*, todo ello para simplificar el proceso de rigging y no confundirme entre todos los joints que hay en la escena.

Como vimos en el esquema de joints anterior (Figura 93. Esquema con los diferentes joints utilizados para el esqueleto del zorro Rapus. Las flechas apuntan a los hijos de cada joint.), hay joints que son “padres” de otros. Por ejemplo, el hombro (*L_Shoulder* y *R_Shoulder*) son padres del codo (*L_Elbow* y *R_Elbow*), lo que me presentó un pequeño **problema: al mover un joint padre, los hijos se movían junto a él**, cosa que no me interesaba mientras estaba posicionando correctamente al padre en su sitio, y descubrí que al pulsar la tecla *“D”* en Maya se pueden mover estos joints sin mover a sus hijos.

Es importante que los joints siempre tengan su orientación (rotación) apuntando hacia los joints hijos [127] [128]. Decidí fiarme una vez de más del tutorial de Rigging de *“3dEx”* donde

recomienda el **plugin “cometJointOrient”** de Michael Comet [129] (artista 3D que trabaja en *Pixar*) el cual se encarga de orientar los joints automáticamente. Estos cálculos se podrían hacer a mano utilizando la opción de Maya “*Skeleton > Orient Joints Options*” [127], pero he decidido utilizar el script para asegurarme de que los resultados serán completamente fiables. Si queremos visualizar gráficamente la orientación de los joints en Maya, podemos hacerlo con “*Display > Transform Display > Local Rotation Axis*”. Asimismo, si algún joint es bloqueado de la vista por culpa del modelo, podemos hacer que los joints “atraviesen” al modelo para poderlos visualizar mejor con la opción “*Shading > X-Ray Joints*”.

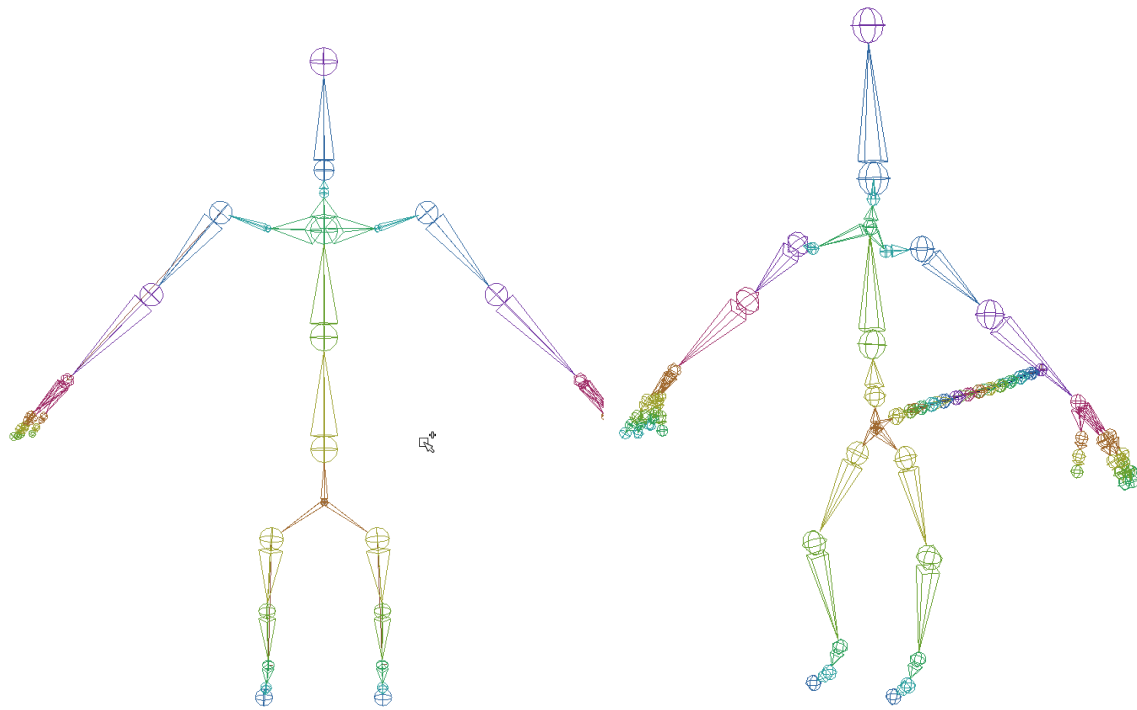


Figura 94. Esqueleto de Urso (izquierda) y de Rapus (derecha). Cada círculo representa un joint.

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez colocados y orientados todos los joint, nuestros esqueletos están preparados para la siguiente fase: **Skinning**.

8.3.2. Skinning

El proceso de Skinning consiste en delimitar sobre qué polígonos de la geometría debe influir cada joint y con cuanta influencia (total, parcial o nula). Sobre este punto se hace bastante hincapié en el apartado del marco teórico 2.3.3. Rigging y Skinning.

Delimitar bien las partes de la geometría que corresponden a cada joint así como **establecer la intensidad con la que controlan cada una de esas partes** es muy importante para que la

animación resulte agradable para la vista. Si yo roto el joint de la muñeca derecha (*R_Wrist*), espero que rote la geometría que corresponde a la mano y no que roten partes de la mano contraria o incluso partes de la cabeza o de las piernas, no tendría sentido y no nos ayudaría en absoluto a la hora de animar.

El primer paso para realizar el Skinning es utilizar la opción “*Skin > Bind Skin*” para **unir el esqueleto a la geometría**. Una vez hecho esto, Maya hará un Skinning automático e intentará darle a cada joint la geometría e influencias adecuadas a cada joint. Esto es un buen primer paso para realizar, sin embargo, para algunos joints **esto es insuficiente** debido a que usualmente se crean algunos problemas de influencia excesiva o insuficiente que debemos solucionar para que a la hora de animar no veamos comportamientos extraños.

Para **arreglar las imperfecciones** en Maya, debemos usar la herramienta “*Skin (Weight Maps) > Paint Skin Weights*” [134]. Esto abrirá un submenú donde podremos elegir entre los joints de nuestro modelo. Si seleccionamos uno, veremos que la geometría se pinta de color blanco (influencia total) o negro (nada de influencia). También hay grises, indicando que este joint posee algo de influencia [134] (cuánto más blanco, más influencia y cuanto más negro, menos influencia).

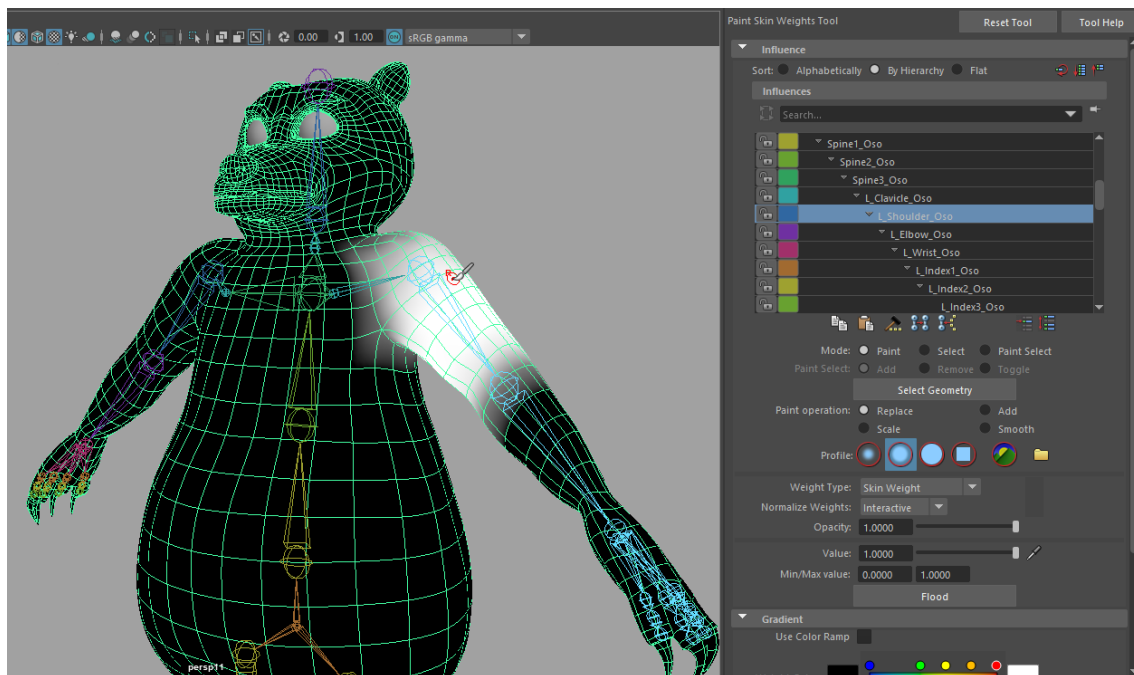


Figura 95. Espacio de trabajo de la herramienta “*Paint Skin Weights Tool*”, con la que hacemos el proceso de Skinning. En la captura, se observa la influencia del joint “*L_Shoulder*” sobre la geometría del modelo de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

Utilizando las funciones “Add” (añadir influencia) y “Replace” (reemplazar influencia) con el selector numérico “Value” (que puede valer cualquier número entre 1 y 0, siendo 1 máxima influencia y 0 sin ninguna influencia) podemos ajustar la influencia o “peso” de los joints para las diferentes caras de la geometría [134]. Esto es extremadamente útil y la clave para solucionar todos los problemas que hay con los movimientos erróneos de nuestro rigging.

Como ayuda para realizar este proceso, utilicé el vídeo “Paint Skin Weights” del tutorial de “3DEX” [127], sin embargo, decidí sencillamente **modificar** por mi cuenta **los skins weights hasta que los movimientos de los joints se veían naturales** y no moviesen geometría que no les correspondía. La única manera viable para comprobar que se estaban configurando los joints correctamente era ir moviendo la geometría para comprobar que no había fallos.

Se pueden consultar los siguientes apartados para comprobar con detalle los polígonos de influencia de los diferentes joints en los modelos: **Apéndice VI – Tabla de Skin Weights de Rapus** y **Apéndice VII – Tabla de Skin Weights de Urso**.

En esos apartados del anexo se han creado dos tablas informativas donde se relacionan cada uno de los joints con la geometría que influncian.

8.3.3. Creación de controladores

Para poder mover los joints creados anteriormente de forma correcta es imprescindible la creación de **controladores**, pues son elementos visuales que además facilitan mucho el trabajo a los animadores. No sólo eso, sino que los controladores nos permitirán, de forma sencilla, **mover** al personaje de formas especiales o **alternar** entre diferentes formas de movimiento.

Como vimos en el apartado del estado del arte 2.3.3 Rigging y Skinning, se pueden mover los huesos/joints de un personaje por medio de **cinemática directa e inversa**. Se trata de dos maneras muy diferentes de animar que se pueden hacer compatibles utilizando un “**IK/FK Switch**” (un “**interruptor**”) que permita alternar entre ambos estilos. Mi objetivo es hacer posible a un animador cambiar la forma de movimiento de las extremidades entre los dos tipos diferentes de cinemáticas, dotando a los modelos de los controladores necesarios para cambiar entre ellas y poder así mover al personaje en cualquiera de las dos.

Plantear este tipo de movimiento combinado entre cinemáticas requería una buena planificación. Pude observar en Internet que otros usuarios habían realizado este tipo de combinación antes. Por ejemplo, una referencia que me fue muy útil fue el vídeo “*Tutorial IK/FK*”

Switch en Maya” del usuario Andrés Carmona en *YouTube*, en este vídeo plantea cómo realizar un cambio entre cinemática directa e inversa y una manera para cambiar entre ambas en el modelo de un brazo. Mi objetivo es ser capaz de aplicar este IK/FK Switch a todas las extremidades.

Es posible hacer que un joint se sitúe en la misma posición que otro joint utilizando una serie de herramientas de Maya. Sabiendo esto, mi planteamiento para poder implementar un IK/FK Switch para cambiar entre cinemáticas fue el siguiente:

1. Tener **3 conjuntos de joints diferentes** para cada extremidad: El **original** del esqueleto creado en el apartado anterior y crear **dos adicionales: uno para usar en IK (cinemática inversa) y el otro en FK (cinemática directa)** para cada extremidad. Es importante renombrar los nombres de estos joint duplicados para no crear confusión: Así que, por ejemplo, ahora tendremos “*R_Shoulder*” (Original), “*R_Shoulder_FK*” (Cinemática directa) y “*R_Shoulder_IK*” (Cinemática Inversa).

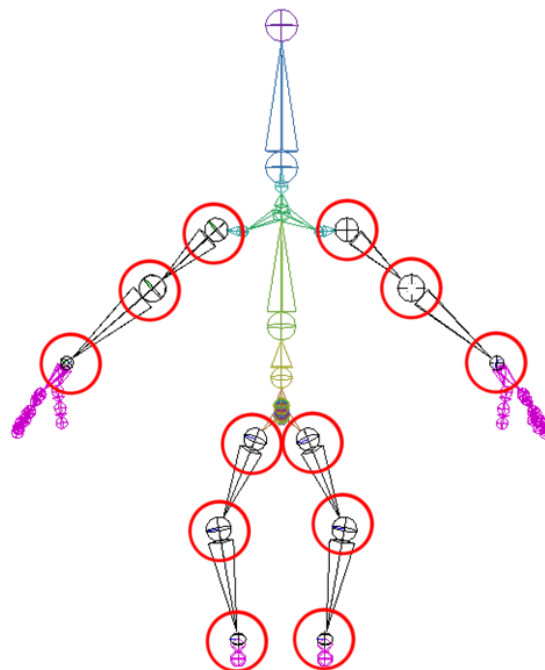


Figura 96. Imagen del esqueleto de Rapus, con un círculo rojo están marcados los joints que habrá que duplicar dos veces: una para FK y otra para IK.

(Fuente: Elaboración propia)

2. Cuando yo quiera que una extremidad se mueva con **cinemática directa** o FK, haré que los joints de la extremidad del esqueleto original copien la posición de los joint duplicados creados para FK. Crearemos **controladores** para poder mover estos joint.
3. Lo mismo para la **cinemática inversa** o IK: Cuando yo quiera que una extremidad se mueva con IK, los joint de esa extremidad copiarán la posición del conjunto de joints duplicados creados para IK. Crearemos **controladores** para poder mover estos joint.
4. Crear un “**interruptor**” que me permita **cambiar entre IK o FK** para cada extremidad (IK/FK Switch).
5. Crear controladores FK para partes del cuerpo sencillas (cuerpo, cabeza, dedos...).
6. Crear controladores especiales para las partes del cuerpo que se mueven de forma diferente a IK o FK: un **movimiento oscilante para la cola** que se sienta natural, hacer que **ambos ojos sigan a un objetivo**, etc.

Con este planteamiento abarco el **movimiento completo del cuerpo** y ofrezco **varias opciones** diferentes, considero que es una forma de hacer el trabajo de los animadores más fácil, dotar de diferentes medios para mover a los personajes. Ejemplos como el controlador especial para la cola surgen por el requerimiento particular de este personaje. Lo que es necesario a continuación es implementar los diferentes controladores mencionados en la lista anterior.

8.3.4. Creación de controladores: Cinemática Directa

El primer conjunto de controladores que cree fueron los controladores de cinemática directa. Una buena técnica es la que utiliza “3dEx” en su tutorial de controladores de este tipo para Maya [131]. Me basé en su técnica para conocer cómo otros animadores creaban estos controladores, pero yo realicé una implementación con menos pasos a seguir.

La técnica que utilicé para crear los controladores de cinemática directa fue la siguiente:

*Nota: Los joint que se mencionan en los siguientes pasos son aquellos que fueron **duplicados** exclusivamente **para usarse en cinemática directa**, no los joint originales del esqueleto.*

- **Crear un NURBS Circle** (círculo) con “Curves/Surfaces > NURBS Circle”. Este círculo será nuestro controlador. Si el controlador va a mover el joint “R_Shoulder_FK”, por ejemplo, le llamaré “R_Shoulder_FK_CTRL”.

- **Posicionar este NURBS Circle junto al joint que queramos.** En cinemática directa, necesitamos un controlador justo encima de cada joint.
- **Reiniciar las transformaciones del controlador** con “Freeze Transformations”.
- **Crear una dependencia de rotación (“Constrain > Orient”) entre el círculo NURBS y el joint.** De esta manera, las operaciones de rotación que apliquemos sobre el controlador se aplicarán sobre el joint.

Al hacer esto con los 3 joints que componen las extremidades, tendremos **controladores que podremos mover en lugar de manipular directamente los joints**, pero esto no es suficiente. Aún no hemos relacionado cómo actúan estos controladores entre ellos, y si yo roto por ejemplo el controlador del hombro “*R_Shoulder_FK_CTRL*” los controladores que deberían verse influidos (el codo “*R_Elbow_FK_CTRL*” y la muñeca “*R_Wrist_FK_CTRL*”) no se ven afectados. Para arreglarlo, debemos ir al outliner de Maya y agrupar los joint correctamente.

Para configurar bien el brazo, por ejemplo, debo arrastrar “*R_Elbow_FK_CTRL*” dentro de “*R_Shoulder_FK_CTRL*” y “*R_Wrist_FK_CTRL*” dentro de “*R_Elbow_FK_CTRL*” para que todos los controladores estén jerárquicamente bien estructurados, de modo que cuando haga una rotación en el controlador del hombro “*R_Shoulder_FK_CTRL*” se aplique al resto de controladores FK, como debe ocurrir. Como alternativa a lo explicado, es probable que este procedimiento también pueda realizarse con una sucesión de operaciones “*Constrain > Parent*”.

La Cinemática directa se basa puramente en rotar los joints, así que, para comprobar el funcionamiento, únicamente roté los controladores para comprobar que tanto los joints como los controladores de cinemática directa adecuados rotaban correctamente.

De momento, no se puede ver cómo nuestro modelo se mueve debido a que luego tendremos que hacer que el esqueleto original copie a estos joints FK o a los joints IK que crearemos en el siguiente apartado. Es decir, **de momento estamos preparando la cinemática directa e inversa por separado y luego la configuraremos para que los joint del esqueleto original se pongan en las posiciones los joint FK o IK**, permitiendo al usuario elegir la que prefiera utilizar en cada extremidad.

8.3.5. Creación de controladores: Cinemática Inversa

Para mover joints con cinemática inversa se pueden utilizar una gama de herramientas que están en Maya. Simplemente investigué el funcionamiento de estas herramientas para encontrar un método sencillo de implementación de este tipo de movimiento:

1. Utilizaremos la herramienta **“Skeleton > Create IK Handle”**, donde debemos primero seleccionar el joint superior (por ejemplo la parte de arriba de la pierna, *R_LegTop_IK*) y luego el joint del final, el cual se podrá controlar y los demás deberán ajustarse acorde a él (por ejemplo el final de la pierna, *R_Foot_IK*) [127]. Esto creará un **“IK Handle”**, el cual permite mover un conjunto de joints mediante cinemática inversa.
2. Para no trabajar directamente sobre los joints, necesitamos crear un **controlador**. Se crea un **NURBS Circle** como controlador de la misma manera que hicimos para cinemática directa [127]. Decidí modificar ligeramente la forma del círculo para distinguirlo de los controladores de cinemática directa. Se utiliza **“Constrain > Parent”** entre el controlador y el IK Handle para permitir mover el controlador en lugar de manipular directamente el IK Handle.
3. Para garantizar todavía un mayor control sobre cómo se ajustan los joints que no movemos nosotros manualmente, se puede crear un **“Constrain > Pole Vector”** para no permitir rotaciones extrañas en codos y rodillas. Se pueden añadir y retirar a gusto del usuario. En mi modelo no hay incluido ninguno, pero el esqueleto es completamente compatible con esta funcionalidad, y se pueden añadir o quitar tantos pole vector como se desee.

Este tipo de cinemática es mucho más sencilla, puesto a que no tenemos más que un controlador que controla todo el IKHandle, por lo que no tenemos que modificar la jerarquía como en los controladores de la cinemática directa.

La cinemática inversa ahorra trabajo para realizar gran cantidad de movimientos, pero puede resultar difícil de utilizar cuando queremos realizar movimientos muy arqueados. Esta fue la principal motivación de aprender a implementar ambas cinemáticas.

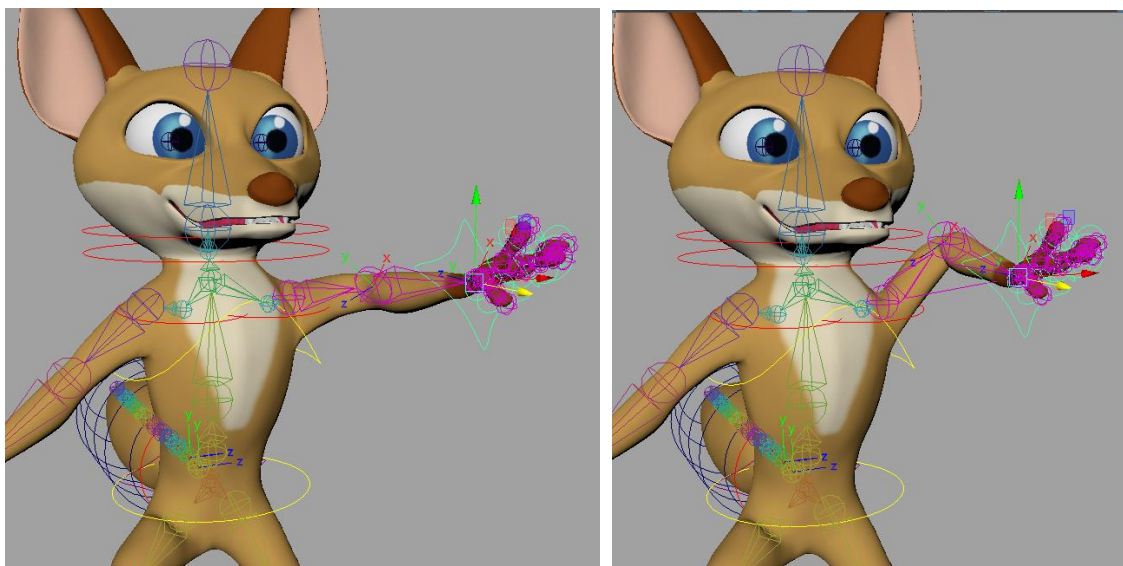


Figura 97. Demostración de cómo los joints padres se ajustan automáticamente al mover un joint hijo en cinemática inversa. Lo único que estamos moviendo es el controlador del joint de la mano y todos los joints de detrás se reposicionan solos.

(Fuente: Elaboración propia)

8.3.6. Creación de controladores: IK/FK Switch

Una vez ambos sistemas para controlar brazos y piernas han sido creados, debemos **hacer que los joint del esqueleto original se posicionen en los joint IK o FK según decidamos**. Habrá que proveer al usuario de una manera para elegir el tipo de cinemática que desee utilizar para los controladores, permitiendo elegir entre el sistema de cinemática directa o el de cinemática inversa que hemos creado anteriormente. El planteamiento, además, es que este **sistema** para cambiar entre cinemática directa o inversa esté **presente en cada una de las extremidades** y podamos aplicar cualquiera de estos sistemas a cada una de ellas.

Para este punto volví a hacer uso de un vídeo mencionado en el apartado “8.3.3 Creación de controladores”, en el cual se muestra un sistema para hacer un cambio entre cinemática directa e inversa en un brazo. Gracias a este vídeo, aprendí un método para poder cambiar entre métodos de cinemática, y apliqué estos conocimientos para crear una versión ligeramente modificada del mismo:

En primer lugar, para todas las extremidades, se utiliza el modificador “**Constrain > Parent**” **entre los joints del esqueleto original y los joints duplicados de FK**. A continuación se hace lo mismo “**Constrain > Parent**” **entre los joints del esqueleto original y los joints duplicados del IK**.

Lo que ocurre cuando hacemos esto, es que el joint del esqueleto original ahora quiere seguir la posición tanto de los joint de cinemática directa (FK) como la posición de los joint de cinemática inversa (IK). Como ambas influencias están activadas, si movemos los joint FK o los joint IK, los joint del esqueleto original se quedarán en una **posición intermedia** entre los dos. Para evitar esto, tendremos que crear lo que se llama un **“IK/FK Switch”**, un **“interruptor”** que nos permita definir a cuál de los dos queremos que siga el esqueleto original.

La creación de este interruptor se realizó con un NURBS Circle al igual que los controladores IK y FK, pero técnicamente podría utilizarse cualquier tipo de objeto de Maya. Se crean 4 NURBS Circle diferentes, una para cada extremidad (los dos brazos y las dos piernas). Cuando todos los NURBS Circle se han creado, modifiqué ligeramente su apariencia para distinguirlos de los controladores de IK y FK.

Tras la creación de los NURBS Circle del IK/FK Switch, se realiza la parte más importante del proceso: crear **una forma de que este círculo permita cambiar entre IK y FK** en una extremidad. Es decir, que el círculo sea capaz de alternar entre hacer que los joints del esqueleto original sigan a los joints FK o a los IK.

Para ello, se añade un **atributo** al IK/FK Switch con la opción **“Add Attributes...”**, este atributo tendrá el nombre **“IK-FK”**, y es un selector que permite elegir entre las opciones **“FK”**, **“IK”** y **“None”**. **“FK”** e **“IK”** son las opciones que, una vez seleccionadas, deben hacer que los joint del esqueleto original sigan a los duplicados correctos, sin embargo todavía estas opciones no hacen nada, porque debemos configurarlas. La opción **“None”** simplemente debe hacer que los joints del esqueleto original no siga ni a los joints FK ni IK.

Para configurar las propiedades creadas anteriormente, se accede al menú **“Key > Set Driven Key...”**, mediante el cual podemos hacer que **cuando un atributo de un objeto cambie de valor, se cambie el valor del atributo de otro objeto**. Es decir, podemos hacer que cuando elegimos **“FK”** el valor para que el joint del esqueleto original siga a los joints FK sea máximo y los de IK sean mínimos; y a su vez podemos hacer que cuando elegimos **“IK”** el joint del esqueleto original siga a los joints IK. Para hacer esto, en este menú, cargamos el IK/FK Switch como **“Driver”** y el joint del esqueleto como **“Driven”**. A continuación, realizamos los siguientes pasos:

1. Seleccionamos el objeto **“IK/FK Switch”** y cambiamos el atributo **“IK-FK”** a la opción **“FK”**.
2. Seleccionamos entonces el joint original y configuramos **el atributo de influencia con el joint FK a 1** mientras que **el atributo de influencia al joint IK se configura a 0**.

3. Se seleccionan estos dos atributos en la ventana de “*Set Driven Key*” y se pulsa el botón “*Key*”.
4. Seleccionamos el objeto “*IK/FK Switch*” y cambiamos el atributo “*IK-FK*” a la opción “*IK*”.
5. Seleccionamos entonces el joint original y configuramos el atributo de influencia con el joint FK a 0 mientras que el atributo de influencia al joint IK se configura a 1.
6. Se seleccionan estos dos atributos en la ventana de “*Set Driven Key*” y se pulsa el botón “*Key*”.
7. Seleccionamos el objeto “*IK/FK Switch*” y cambiamos el atributo “*IK-FK*” a “*None*”.
8. Seleccionamos entonces el joint original y configuramos el atributo de influencia con el joint FK a 0 y el atributo de influencia al joint IK se configura a 0 también.
9. Se seleccionan estos dos atributos en la ventana de “*Set Driven Key*” y se pulsa el botón “*Key*”.

Cuando pulsamos la opción “*Key*”, estamos haciendo que cada vez que seleccionamos el atributo “*IKFK*” del *IK/FK Switch* y le asignamos “*FK*”, “*IK*” o “*None*” **cambie la forma en la que se comportan los joint del esqueleto original de esa extremidad**, siguiendo a los joint FK, IK o a ninguno. Y, de esta manera, dotamos al animador de una forma sencilla de cambiar la forma de cinemática aplicada en los joint de cada extremidad.

8.3.7. Creación de controladores: Controladores especiales

Controladores de cuerpo, cabeza y dedos:

Debido a la naturaleza de estas partes del cuerpo, consideré que la movilidad con cinemática inversa no sería tan importante como para las extremidades, así que decidí dejar el **cuerpo, la cabeza y los dedos únicamente con controladores de cinemática directa**. Debido a que estas zonas no tienen cinemática inversa, no es necesario hacer todos los pasos de los apartados anteriores para crear un *IK/FK switch* ni generar duplicados de los joint.

La forma de creación de los controladores es similar a la del apartado Creación de controladores: Cinemática Directa.

Controladores para la cola:

Tras investigar varias formas de conseguir implementar una cola funcional, decidí que la cola del zorro usaría una versión modificada de **cinemática inversa**. En el vídeo “*How to Rig a Tail*” del usuario “Render de Martes” en YouTube, se nos muestra una técnica **para crear movimiento oscilante fluido para una cola** [132]. Siguiendo sus instrucciones, conseguí implementar una cola con cinemática inversa, los pasos fueron los siguientes:

1. **Crear una curva 3D** con “*Curves / Surfaces > EP Curve Tool*” para incluirla en el escenario.
2. **Crear un IK Spline Handle** con “*Skeleton > Create IK Spline Handle*” en los joints que queremos animar. En mi caso, será el conjunto de joints de la cola (desde *Tail02* a *Tail13*, ignoramos el primero para crear un efecto más natural).
3. Crear un **segundo conjunto de joints**. En mi caso cree un conjunto llamado *Tail_Joint_CTRL* de 7 joints (la mitad de los joints que tiene la cola del esqueleto original).
4. Seleccionamos el segundo conjunto de joints y la curva 3D y se usa el comando “*Skin > Bind Skin*”. De este modo, **el segundo conjunto de joints guiará la posición de esta curva** (similar a cómo los joints guían al esqueleto en nuestro modelo 3D).
5. Crearemos **controladores de cinemática directa** igual que en el apartado Creación de controladores: Cinemática Directa (estos controladores son **para el segundo conjunto de joints**).
6. **Crearemos un último controlador** (por ejemplo, un NURBS Circle) para **mover todos los joints al mismo tiempo** y crear un **efecto oscilante de movimiento muy fluido**. El objetivo es que este objeto, **al rotar, rote a todos los controladores del paso anterior**.
7. Abrimos “*Windows > General Editors > Connection Editors*” y enlazamos la rotación (“rotation”) de este objeto a la rotación (“rotationX”, “rotationY”, “rotationZ”) de los controladores del paso 5. De este modo, **todo rotará cuando el controlador creado en el paso 6 rote** [132].

En esencia, lo que está ocurriendo es que el segundo conjunto de joints está influenciando a la curva, y su vez esta curva modifica la curvatura del conjunto original de joints que hay en mi esqueleto. El controlador final del paso 6 permite girar todos los controladores creados en el paso 5 a la vez, lo que a su vez crea un efecto de torsión en los joints de la cola. Se trata, en esencia, de una cadena de unos elementos que influyen a otros.

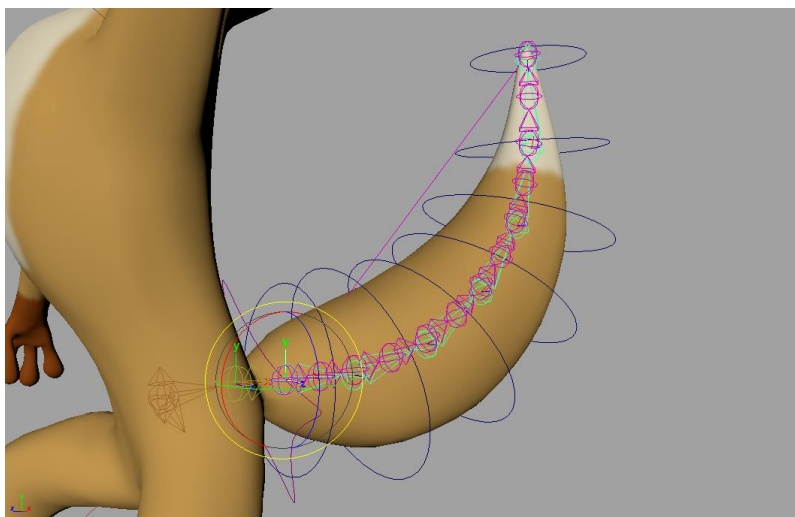


Figura 98. Demostración del pliegue de la cola. En morado están los joints del esqueleto principal. En cian están los joints del conjunto creado en el paso 3, el cual influencia la forma de los joints del esqueleto principal y, por tanto, su geometría.

(Fuente: Elaboración propia)

Controladores para los ojos:

Los **ojos** son **modelos independientes** a los personajes, no están en la geometría del cuerpo, simplemente están colocados en su posición correspondiente. Sin embargo, también necesito moverlos de alguna manera.

Decidí utilizar la implementación del usuario de YouTube “*Stig Plantell*” [133], puesto que me gustó mucho el efecto conseguido. Este método para controlar los ojos se basa en tener un **punto al que los ojos están mirando**, el “**aim**” u “**objetivo**”. En Maya, existe la herramienta “*Constrain > Aim Constrain*” que nos permitirá realizar justo esto mismo.

1. Creo una geometría cualquiera, por ejemplo, un **círculo** con “*Curves / Surfaces > NURBS Circle*”. Este será nuestro objetivo.
2. **Alejamos esta geometría** de los ojos lo suficiente para que los ojos no intenten mirar hacia dentro.
3. Aplicamos “***Constrain > Aim Constrain***” seleccionando primero un ojo y luego la curva, y luego lo mismo con el otro ojo. Esto hará que **los ojos sigan con la rotación a este objetivo**.

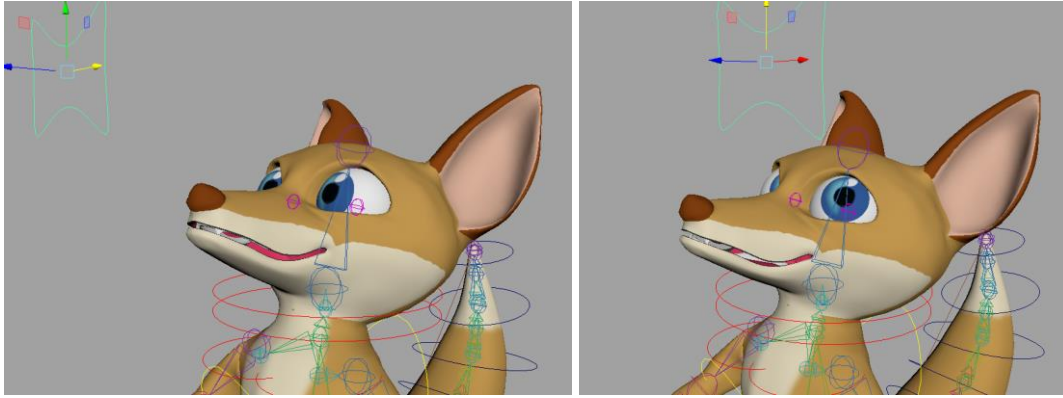


Figura 99. Demostración de funcionamiento del “Aim Constrain” para los ojos. Los ojos siempre mirarán hacia el controlador objetivo.

(Fuente: Elaboración propia)

Es importante que los ojos también estén unidos al esqueleto. En mi caso, decidí utilizar “Constrain > Parent” para asegurarme de que cualquier cambio que se realizara al joint “HeadTip” (el joint de la cabeza) cambiase la traslación y rotación de los ojos.

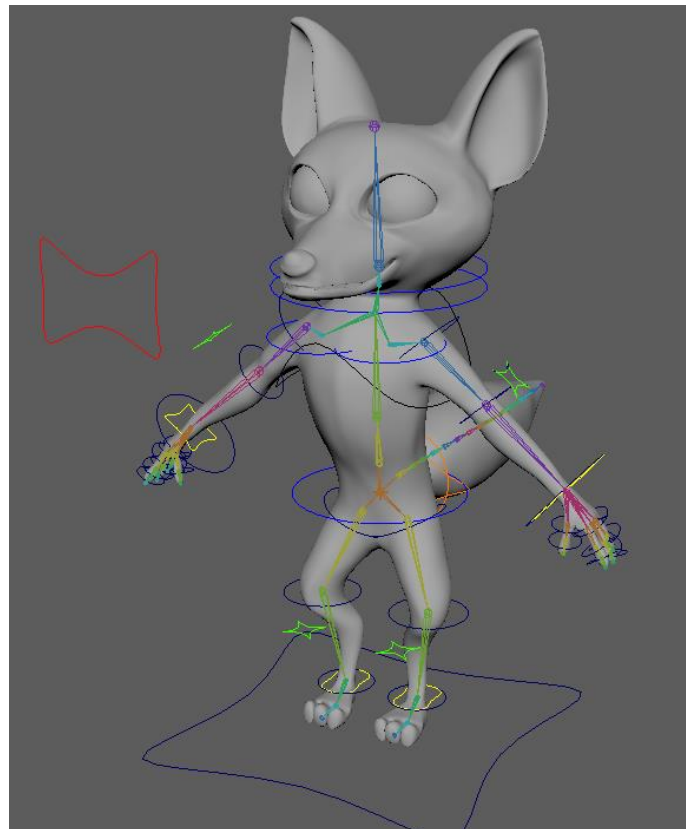


Figura 100. Controladores de Rapus. En azul: cinemática directa. En amarillo: cinemática inversa. En verde: IK/FK Switch. En rojo: Controlador para los ojos. En naranja: Controladores de la cola.

(Fuente: Elaboración propia)

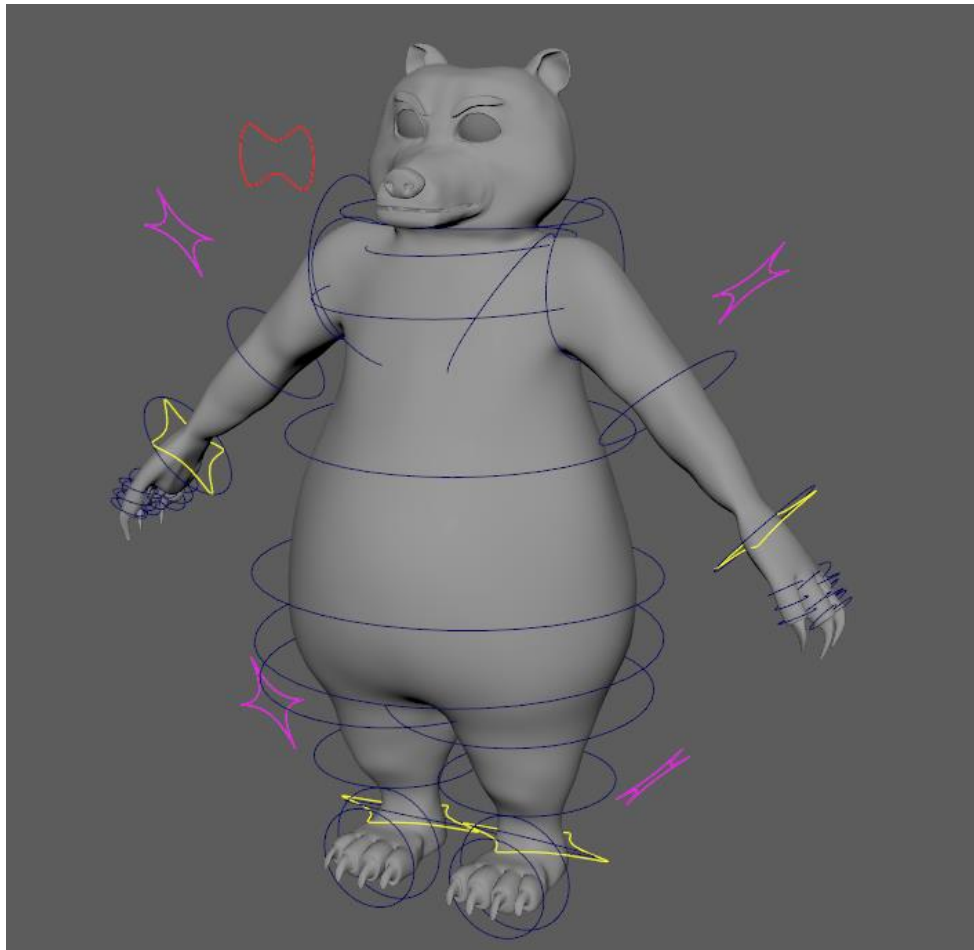


Figura 101. Controladores de Urso. En azul: cinemática directa. En amarillo: cinemática inversa. En púrpura: IK/FK Switch. En rojo: Controlador para los ojos. En naranja: Controladores de la cola.
(Fuente: Elaboración propia)

Una vez que hemos implementado todos los controladores, tenemos a los personajes listos para realizar animaciones y posturas.

8.3.8. Compatibilidad con captura de movimiento

En la industria es muy común aprovechar **datos de captura de movimiento grabados** con actores reales como base para crear animaciones, por lo que consideré apropiado hacer pruebas para comprobar si mis modelos eran capaces de soportar este tipo de animaciones. Para probar a importar una animación con datos de captura de movimiento a los esqueletos de mis personajes, accedí a la aplicación web “**Mixamo**” para descargar una animación creada a partir de datos de captura de movimiento en formato fbx.

Tras descargar dicha animación, esta se puede **importar** a Maya con la opción *“Import...”*. Cuando se importa a la escena, un **esqueleto** con joints aparecerá en la escena, similar al que construimos para los personajes. La forma que utilicé para comprobar la compatibilidad de mis modelos con esta animación fue aplicar los pasos seguidos por la *“UIW 3D Animation and Game Design”* en su canal de YouTube. Siguiendo sus pasos, pude enlazar ambos esqueletos haciendo uso de la función *“HumanIK”* de Maya.

Para **enlazar ambos esqueletos** y transferir la animación de uno al otro, haremos uso de las “definiciones de personaje” de Maya. El primer paso es usar la función *“Create Character Definition”* enlazando los diferentes huesos de la interfaz con los huesos del modelo. Una vez hecho esto, hacemos *“Create Character Definition”* pero con los huesos de la animación importada de Mixamo. Cuando hagamos esto, tendremos dos definiciones diferentes y podremos entrar en la creada para nuestro personaje y cambiar la opción *“Source”* a la definición de Mixamo. Cuando esto ocurra, nuestro personaje replicará la animación de Mixamo.

Al hacer este proceso encontré un problema, y es que las animaciones de Mixamo están grabadas en forma de T o T-Pose, a diferencia de mis modelos que fueron modelados en forma de A o A-Pose. Para poder hacer compatibles mis modelos, tuve que rotar manualmente el esqueleto con mis controladores para dejar los brazos en forma de T. Una vez hecho esto, las animaciones se volvieron compatibles.

Algo importante para tener en cuenta es que las animaciones importadas por captura de movimiento **no son perfectas y necesitan ser retocadas** haciendo uso de los controladores debido, entre otros factores, a que el esqueleto de mis personajes es diferente al configurado para la grabación y hay partes del cuerpo (como las piernas del oso o la cola de zorro) que son diferentes o están ausentes de las grabaciones de Mixamo. La suerte de que nuestros personajes sean animales antropomórficos es que la mayoría de joints del cuerpo son iguales, pero habrá elementos como la cola del zorro que habrá que animar a mano siempre.

La conclusión a la que llegué haciendo estas pruebas es que estos dos modelos **pueden potencialmente hacer uso de los datos** obtenidos mediante captura de movimiento, pero requerirán un proceso posterior de **ajuste** de algunos joints para arreglar los desperfectos ocasionados al importar las animaciones. Para estar completamente seguros, habría que hacer muchas más pruebas, algo que quedará registrado como una posible mejora (en el apartado 10.3 Mejoras futuras) de este trabajo de fin de grado.

8.4. Animación facial (Blend shapes)

Para permitir animar expresiones en la cara de los personajes, decidí utilizar el método conocido como **“Blend Shapes”**. Con este método, puedo realizar modificaciones en la geometría que podrán ser gestionadas en la interfaz *“Windows > Animation Editors > Shape Editor”* de Maya. Esto me permite utilizar blend shapes para alterar, por ejemplo, la geometría del hocico y de las orejas por separado, debido a que una no modifica los vértices de la otra. El objetivo es que **la geometría de la cara cambie por otra geometría diferente**, y que esta muestre una expresión facial diferente.

Para poder realizar una blendshape necesito **por un lado mi modelo original y por otro un duplicado del modelo base, pero con la geometría modificada** para expresar una emoción (mi modelo base va a poder **“convertirse”** en el modelo duplicado modificando sus vértices).

Se encontraron algunos **problemas** para implementar Blend Shapes al principio debido al siguiente requisito: para poder transformar una geometría mediante blend shapes el orden de los vértices de la original y el duplicado modificado deben coincidir, y si yo quiero crear duplicados que tengan únicamente la cabeza de mi modelo sin el resto del cuerpo, nada me asegura que el orden de los vértices de mi modelo completo y de una cabeza separada sean los mismos. Para combatir este problema, hay que implementar una de las siguientes **soluciones**: o bien se **separa la cabeza y se hace un duplicado de esta** asegurándonos por completo de que el orden de los vértices es el correcto o bien se hace un **duplicado de todo el modelo** (cuerpo incluido) forzando a que el orden de los vértices siempre es correcto (lo que conlleva mayor carga de polígonos en la geometría duplicada de referencia). En el proyecto, implementé ambas soluciones para hacer pruebas, pero acabé utilizando la primera solución la mayoría del tiempo.

Para implementar la **primera solución** (que el duplicado modificado sea una cabeza sin cuerpo), seguí las instrucciones de un video subido a YouTube por el usuario *“Lawrence Cordero”* [126], el cual nos indica que para realizar esta estrategia, es necesario hacer un duplicado de cuerpo y cabeza, separarlos y después juntar la cabeza con el cuerpo en este orden. Una vez juntado de esta manera, si utilizamos únicamente una cabeza como referencia para la blend shape, todo funcionará correctamente. Es decir, lo que tendremos al final es el cuerpo y la cabeza juntos en el modelo definitivo y una cabeza duplicada a parte que podremos deformar y utilizar para crear blend shapes.



Figura 102. Primeras pruebas de duplicados de la cabeza de Urso para mostrar diferentes emociones faciales.

(Fuente: Elaboración propia)

Para la segunda opción, únicamente hay que duplicar el cuerpo y modificar los vértices de la cabeza a nuestro gusto, esta opción la utilicé más adelante para ahorrar tiempo, aunque es cierto que no es óptima para ahorrar recursos en la escena.

Sea cual sea el método, una vez modifiquemos los vértices de la cabeza de nuestra referencia, sencillamente se utiliza la opción “*Deform > Blend Shape*” para crear un modificador blend shape en nuestro modelo que podremos activar total o parcialmente. Es importante, para evitar futuros problemas con el Rigging del personaje, marcar la opción “*Blendshape > Advanced > Transformation Order > Post-Transformation*” para garantizar la compatibilidad de las blendshape con el esqueleto articulable que crearemos para el personaje en apartados posteriores.

Para poder aplicar una o varias blendshape a nuestro gusto se utiliza la ventana “*Windows > Animation Editors > Shape Editor*”. En esta ventana, podemos **combinar varias blendshape** para crear emociones faciales. Por ejemplo, puedo crear una blendshape que únicamente mueva las cejas de mi personaje y otra que abra la boca, y más adelante en este menú puedo elegir si quiero aplicar las dos a la vez, o en la proporción del 0 al 100% que desee que se aplique. Mientras dos blendshapes no editen los mismos vértices, podré aplicar todos los que quiera al mismo tiempo sin ningún tipo de problema. Si tocan los mismos vértices, entrarán en conflicto y ambas intentarán modificar las mismas partes de la geometría.

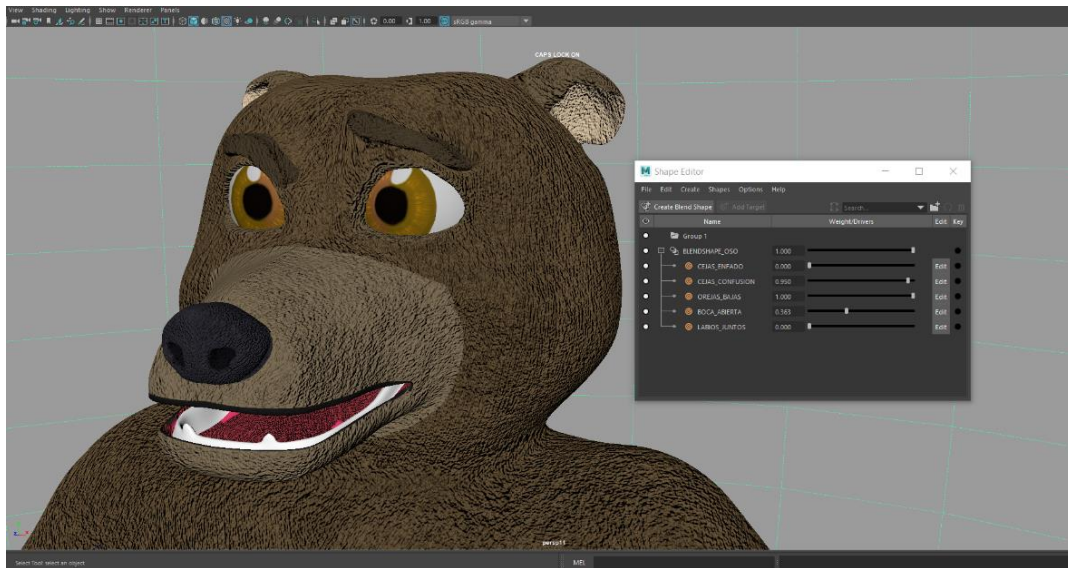


Figura 103. Ventana del “Shape Editor” a la derecha. Expresión facial construida a partir de la aplicación total y parcial de varias blendshapes al modelo de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

Las blendshapes fueron lo que hicieron posible realizar deformaciones faciales combinadas para crear expresiones faciales en mis personajes. Para el proyecto, se han creado varias **muestras** de blendshapes para mostrar su funcionamiento y garantizar que cumplen su objetivo. También se comprobó que estas blendshapes eran compatibles con el resto de funcionalidades.



Figura 104. Modelo de Rapus tras aplicar varias blendshape para mostrar emociones de “alegría” y “tristeza”.

(Fuente: Elaboración propia)



Figura 105. Modelo de Urso tras aplicar varias blendshape para mostrar emociones de “confusión” y “enfado”.

(Fuente: Elaboración propia)

8.5. Efectos especiales: Pelaje VFX con Xgen Interactivo (Fur Grooming)

XGen es un instanciador de geometría que permite crear primitivas sobre una superficie. Utilizando las funciones que ofrece XGen se puede incorporar a un personaje cabello, pelaje, plumas, etcétera. [78] [79]

Los materiales creados gracias a las texturas de Substance Painter dotan a los personajes de efectos visuales que pueden emular el pelaje y pueden ser apropiados para algunos medios como videojuegos con poco poder computacional. Sin embargo, en cortometrajes, películas de animación 3D o videojuegos en alta definición se suele hacer uso de pelaje, que permite recubrir a los animales antropomórficos de una capa de pelo similar a los animales.

Utilizando la tecnología que ofrece XGen recubriremos parte de la geometría de los personajes con una capa de pelaje, de modo que conseguiremos un resultado algo más realista y complejo que puede ser más adecuado para proyectos como películas de animación. Para ello se hará uso de Xgen interactivo, que nos ofrece una gran variedad de herramientas para peinar, estirar y estilizar el pelaje, así como previsualización en tiempo real de los nuevos resultados mientras usamos las herramientas [79]. Para practicar con el entorno de XGen, realicé el curso “3D Hair

creation with Maya Xgen” impartido por Juan Paulo Mardónez [136], este curso me permitió familiarizarme con el entorno de Xgen interactivo y cómo aplicar distintos tipos de pelaje a un modelo.

Para realizar la implementación de los dos distintos tipos de pelaje, se observaron como referencia fotografías del pelaje de ambos animales para intentar replicarlo y adaptarlo a los personajes de la mejor forma posible. El resultado de implementar el pelaje se podrá ver directamente en el apartado Resultados del proyecto.

8.5.1. Pelaje de Rapus

En XGen Interactivo, podemos formar grupos de pelaje que cubran varias caras de la geometría de nuestros modelos. Para hacer el proceso más fácil, también se pueden elegir islas de UV y seleccionar las zonas que nos interesen. Cada “grupo” de pelaje que creamos con XGen interactivo se llaman IGS (Interactive Groom Splines).

Rapus constará de dos IGS: Uno para la cabeza y otro para el cuerpo. Esto es debido a que vamos a reaprovechar las texturas creadas en Substance Painter para indicar a XGen de qué color debe ser el pelaje. Para ello se hará uso de la función “Create Hair and Fur” con una densidad de 12.

Una vez colocado el pelo sobre el personaje, se hizo uso de las siguientes herramientas:

- Length tool: permite cambiar la longitud del pelo, sin cambiar su forma. Me permite hacer que sólo determinados pelos sean más largos que otros.
- Comb tool: Me permite “peinar” el pelo para poder indicarle a Maya en qué dirección debe orientarse.
- Smooth tool: Hace un cálculo entre los pelos que hay alrededor de un pelo para dejarlo en el punto medio, sirve para dejar un resultado más natural entre varios pelos consecutivos.

El trabajo en XGen es no-destructivo y podemos hacer uso de varias “capas”. Las capas donde podemos utilizar las herramientas anteriores se llaman “capas de esculpido” o “Sculpt Layers”. De esta manera, podemos utilizar algunas de las herramientas anteriores en una nueva capa y borrarla después si no nos convence el resultado. En mi caso, todas las veces que apliqué Smooth Tool a los personajes fue en una capa nueva llamada “suavizado”.

No sólo podemos hacer uso de las herramientas mencionadas antes, sino también de modificadores que alteran la forma en la que se comporta el pelaje. Estos crean una capa nueva

especial donde se pueden configurar los parámetros de estos modificadores. Los modificadores utilizados han sido:

- Clump: Permite agrupar el pelaje en “mechones”. Se pueden utilizar varios al mismo tiempo para conseguir resultados muy interesantes.
- Noise: Permite añadir “ruido” al pelaje, es decir, hacer que algunos pelos no sigan la trayectoria o características que hemos definido anteriormente para darle más autenticidad al resultado y un pequeño factor de aleatoriedad.

La combinación de todos estos elementos permitió conseguir la implementación del pelaje en el cuerpo de Rapus.

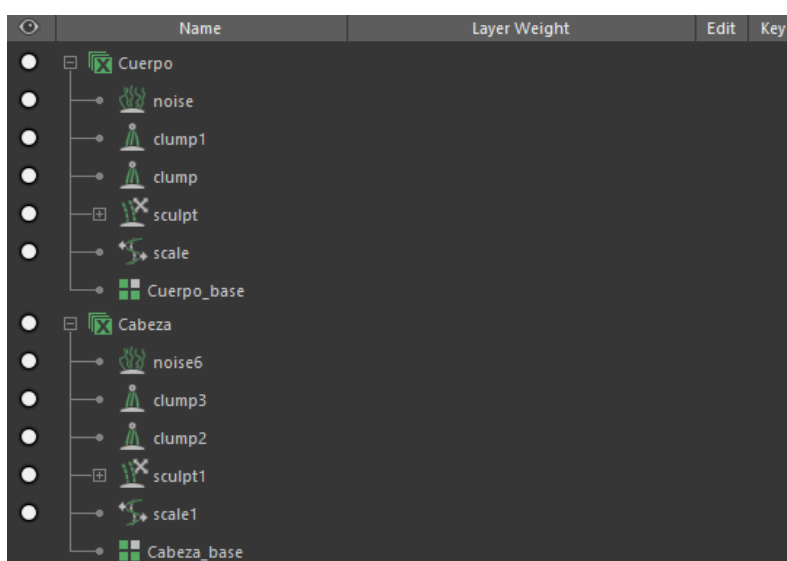


Figura 106. Capas utilizadas en XGen para los IGS de Rapus.

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se listará una lista de aquellos parámetros que se han modificado en cada una de estas capas:

Tanto la cabeza como el cuerpo tienen una densidad de pelaje de 7.5. El ancho del pelaje (Width scale) es 0.1, y la rampa del pelaje va de más grueso (0.3) a más fino (0.02) con interpolación “Smooth”. En el modificador “Scale”, el pelo se escala en 1.3. Las capas de esculpido “Sculpt” tienen una capa usada para peinar el pelo (con Length y Comb tool) y otra para suavizar el pelo (con Smooth tool).

Para el primer modificador “Clump”, la escala de Clump (Clump scale) va de 0.5 a 0 y la densidad es de 20. Además, al “Clump Modifier” se le ha aplicado una máscara “Noise” con los siguientes

datos: Umbral (Threshold) a 0.11, Amplitud a 1, Ratio a 0.447 y frecuencia a 3.896. Con esto conseguimos agrupar en mechones el pelo.

El segundo modificador “Clump” es igual que el primero pero con una escala de Clump (Clump Scale) mayor, yendo de 1 a 0.32 y una densidad de 100. Utiliza la misma máscara con “Noise”. Con esto podemos agrupar los mechones anteriores en mechones aún más pequeños.

Por último, el modificador “Noise” tiene una magnitud (Magnitude) de 9.549 y usa una máscara con “Noise” con los siguientes valores: Umbral (Threshold) a 0.833, Ratio de 0.447, Frecuencia de 20 y además se marca la casilla Effects > Invert. Esto consigue que haya algunos pelos pequeños que actúan de forma diferente a los demás.

8.5.2. Pelaje de Urso

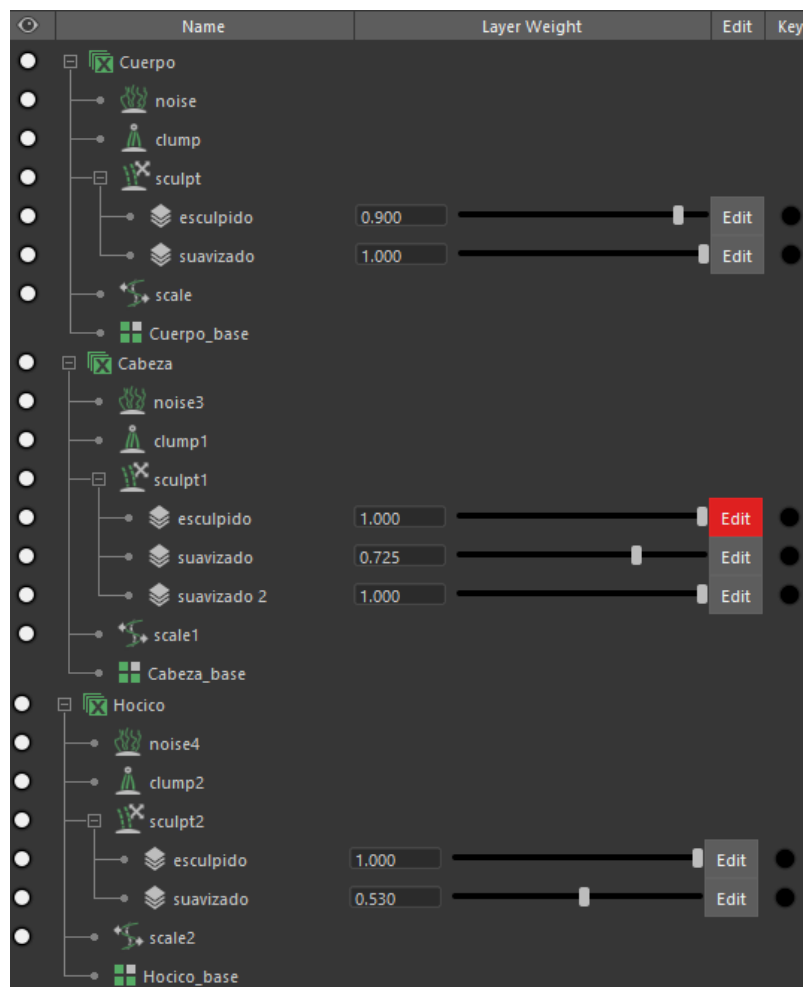


Figura 107. Capas utilizadas en XGen para los IGS de Urso.

(Fuente: Elaboración propia)

Las herramientas y modificadores utilizados son exactamente los mismos, lo único que cambian son los parámetros y la cantidad de IGS utilizados.

Para el pelaje de Urso, se utilizaron 3 IGS: uno para el cuerpo, otro para el hocico y otro para el resto de la cabeza. La diferenciación entre hocico y cabeza es debido a que podemos de manera sencilla determinar una longitud del pelo distinta para los dos.

Los parámetros modificados para Urso son completamente iguales que los de Rapus, salvo por algunas excepciones:

- El pelo es mucho más grueso (la width ramp va de 0.7 a 0.05).
- En el modificador “Scale”, el pelo se escala a 2.
- La densidad del modificador “Clump” vale 9.965.
- Se cambio un nuevo valor al modificador “Clump”: el valor “Curl” vale 0.854 y la Curl Scale va de 0.22 a 0.6 (esto hace que el pelo esté rizado).

Oso además cuenta con un tercer IGS que zorro no tiene, uno específico para el hocico. Se diferencia del resto de sus IGS en que el pelo es mucho más corto, disminuyendo el modificador “Scale” a 1.

8.6. Iluminación / Renderizado

Para poder producir renders finales de los personajes se utilizará el renderizador Arnold. Ya vimos en el apartado 8.2.5 (Implementación de las texturas en Maya con el motor de renderizado Arnold) cómo se han configurado los materiales de los personajes para conseguir un buen resultado con Arnold. También vimos que hubo que añadir un material especial al pelaje para poder ser renderizado en Arnold en el apartado 8.5 (Efectos especiales: Pelaje VFX con Xgen Interactivo (Fur Grooming)). En las figuras de este último apartado, se puede observar cómo los personajes están acompañados de unas imágenes en el fondo del escenario, esto es lo que se llama un HDRI. El uso de esta tecnología no estaba planificado para el proyecto, pero decidí incluirla porque pensé que podría ayudar a realizar el proceso de iluminación de forma sencilla, ahorrar tiempo y conseguir resultados más profesionales.

Para conocer más información acerca de qué es un HDRI, aconsejo consultar la siguiente sección del apartado estado del arte: 2.5. Ejemplo de personaje de animación 3D

Se utilizaron dos HDRI en este proyecto, uno para cada personaje, y ambos fueron obtenidos en la página HDRIHaven [137]. Esta página web nos permite descargar HDRIs de alta calidad con licencia Creative Commons 0 (ofrecimiento al dominio público) [138]. Los HDRI elegidos son un bosque y una pradera, ya que son lugares donde podrían encontrarse este tipo de animales, pero realmente podríamos haber elegido cualquier tipo de entorno ya que se trata de personajes animados.

Para implementar los HDRI en la escena hay que tener en cuenta que estamos utilizando Arnold y, por tanto, necesitamos añadir la luz desde “Arnold > Lights > Skydome Light”. Esto creará una esfera (también conocida como “skybox”) en la que situaremos dentro al personaje y, si le ponemos un HDRI, podremos ver la imagen alrededor de la escena en cualquier ángulo.



Figura 108. HDRI utilizado para los renders de Rapus, “Lilienstein”. Creado por Andreas Mischok.

(Fuente: <https://hdrihaven.com/hdri/?h=lilienstein>)



Figura 109. HDRIs utilizados para el proyecto, “Lilienstein” y “Forest Slope”. Creados por Andreas Mischok.

(Fuente: https://hdrihaven.com/hdri/?h=forest_slope y <https://hdrihaven.com/hdri/?h=lilienstein>)

Una vez creada la Skydome Light, se debe hacer click en el icono que hay a la derecha del atributo “Color”, y de forma similar a cuando utilizábamos imágenes para texturizar a los personajes, elegimos el archivo .hdr donde están los datos del HDRI. Al hacer esto, la iluminación se configurará automáticamente para este HDRI. El único cambio que se hizo fue corregir el parámetro “Intensity” al valor 1.8 para Rapus y 1.623 para Urso. Este valor cambia la intensidad de la luz, y fui manipulando este valor hasta conseguir los resultados esperados.

El HDRI no deja de ser una esfera texturizada, no nos serviría como un sustituto de un escenario real para un proyecto de animación, pero son un fondo estupendo para mostrar las posibilidades que pueden ofrecer nuestros personajes. Las imágenes con los resultados finales se pueden observar en el siguiente apartado, 9. Resultados

Para el renderizado se van a producir imágenes de 3840 x 2160 pixeles (resolución 4K). Estas imágenes serán renderizadas por GPU con el renderizador Arnold.

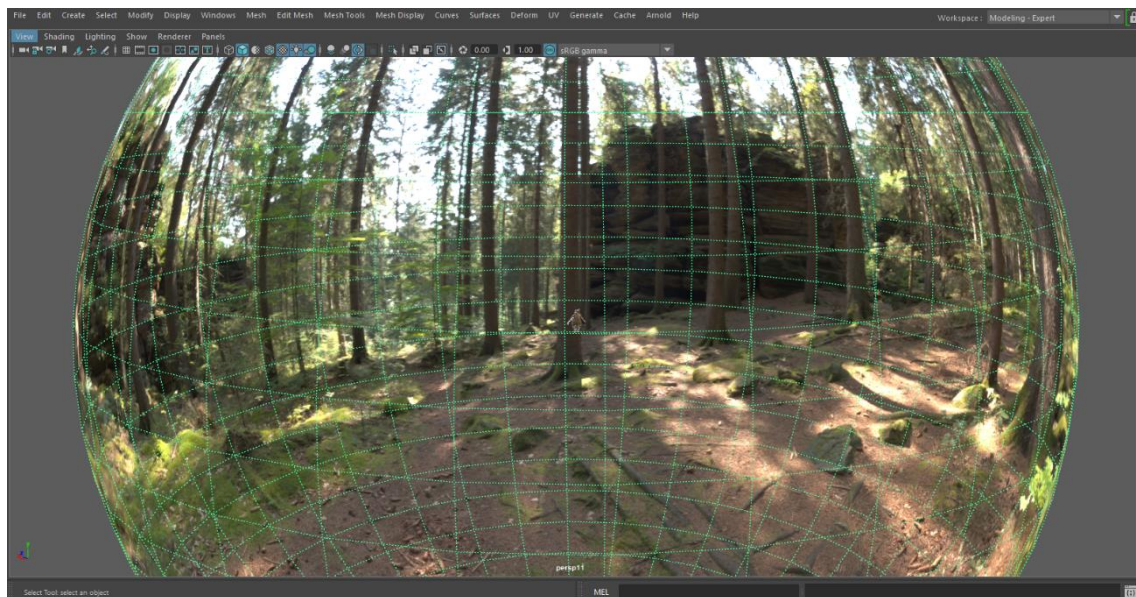


Figura 110. Implementación del HDRI “Forest Slope” en la escena de Maya.

(Fuente: https://hdrihaven.com/hdri/?h=forest_slope)

9. Resultados

Para mostrar los resultados finales, se hará una distinción entre resultados con y sin el pelaje realizado en XGen debido a que el mismo puede no ser soportado o adecuado para algunos proyectos o programas externos y puede ser más recomendable utilizar simplemente las texturas creadas en Substance Painter sin incluir pelaje. Esto es debido a que el pelaje es algo muy delicado al requerir de una muy alta capacidad de procesamiento gráfico (lo cual lo hace perfectamente adecuado para proyectos como películas o cortometrajes pero no para software que se ejecuta en tiempo real como podría ser un videojuego en un teléfono móvil de bajos recursos) y es usualmente dependiente del tipo de software que estemos usando (si queremos incorporar un sistema de pelaje en Unreal Engine es posible que el pelaje que hemos creado en Maya no sea compatible).

A continuación, se adjuntan las imágenes finales (renders) con los personajes adoptando una pose aprovechando todos los sistemas de animación implementados.



*Figura 111. Render final de Rapus sin pelaje VFX Xgen, sólo texturas.
(Fuente: Elaboración propia)*



*Figura 112. Render final de Urso sin pelaje VFX Xgen, sólo texturas.
(Fuente: Elaboración propia)*



Figura 113. Render final de Rapus con pelaje VFX Xgen.
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 114. Render final de Urso con pelaje VFX Xgen.
(Fuente: Elaboración propia)

10. Conclusiones y trabajo futuro

Estoy satisfecho con los resultados obtenidos en este trabajo de fin de grado, creo que los objetivos se han podido cumplir de forma satisfactoria. En este apartado se realizará un repaso de los resultados objetivos en relación con los objetivos planeados. También una reflexión sobre los resultados obtenidos y propuestas de múltiples mejoras.

10.1. Alcance de objetivos

Se ha conseguido crear, a partir de los diseños de Patricia Venegas, dos personajes en 3D. Dichos personajes han sido texturizados en Substance Painter y poseen animación mediante controladores de cinemática directa e inversa para controlar el cuerpo. También soportan el uso de blend shapes que, como hemos visto en los ejemplos de esta memoria, pueden ser utilizados para animar la cabeza del personaje con expresiones faciales combinables entre sí. El desarrollo de estos tres apartados cumplen el primero de los objetivos planteados.

Se ha podido implementar pelaje mediante XGen, el cual era otro de mis objetivos. El estudio de esta herramienta era uno de los puntos en los que más interés tenía al comenzar este proyecto porque se trata de una potente herramienta que ofrece resultados muy interesantes y llena de vida a los personajes.

El proyecto ha sido dividido en las fases en las que habitualmente se trabaja en la industria de la animación según mis fuentes de referencia, pero sólo he podido utilizar aquellas fases que tenían que ver con el desarrollo de personajes sin contar el diseño de personajes, pues los diseños fueron desarrollados por Patricia Venegas, por lo que este TFG se ha centrado en los apartados de producción 3D de los personajes, lo cual era otro de los objetivos.

Durante el apartado “Desarrollo” considero que he realizado bastantes menciones explícitas a las herramientas o funciones clave que he ido utilizando, cumpliendo mi objetivo. Decidí hacer esto para que otras personas puedan observar cómo pueden conseguir resultados similares o qué herramientas pueden utilizar el software usado en este trabajo para realizar otro proyecto. Este objetivo nació de mi experiencia propia buscando fuentes de información sobre modelado y animación 3D por internet durante la carrera, donde muchas veces las indicaciones acerca de qué herramientas o funciones se han utilizado para realizar determinadas tareas eran muy ambiguas o no existían.

Para el último objetivo voy a dedicar un apartado completo. Se va a realizar una reflexión más extensa con varios párrafos con intención de identificar cuáles han sido los problemas que he encontrado en las distintas fases del desarrollo debido a que los personajes a desarrollar eran animales antropomórficos. Se puede consultar en el siguiente apartado (10.2 Problemas encontrados).

10.2. Problemas encontrados

Durante la fase de modelado, **la anatomía híbrida entre humano-animal de los personajes hizo que fuese un poco confuso modelar al personaje** al tener en cuenta factores como la diferente estructura facial, orejas, forma de las piernas... así como elementos que no estaban presentes como la cola, las zarpas... Al modelar animales antropomórficos, hay que **utilizar bastante la imaginación** para pensar cómo crear este tipo de cuerpo (especialmente en la profundidad que deben ocupar las distintas partes del cuerpo, cosa que no puede apreciarse con facilidad en un dibujo 2D). A pesar de que yo contaba con un diseño de referencias había partes (como el interior de la boca) que tuvieron que ser realizadas sin contar con ningún tipo de referencia.

Aunque no es una característica única para este tipo de personajes, **el texturizado de los mismos fue completamente influenciado por la apariencia** de estos personajes, las texturas elegidas en Substance Painter reflejan las características animales de estos personajes (pelaje, detalles de la nariz, marcas de las patas...). Quizás lo único relevante a destacar, es que no he encontrado mucha variedad de materiales libres y gratuitos de pelaje en Substance Painter como las podría haber encontrado de piel humana, lo que me lleva a pensar que **encontrar texturas apropiadas para este tipo de personajes puede resultar una tarea más compleja**.

Para la fase de rigging, **este tipo de personajes pueden requerir la creación de controladores adicionales**, como se hizo en este proyecto para para la cola del zorro. Este es un ejemplo de cómo elementos como este, que no encontramos en seres humanos normales, nos obligan a realizar pasos extra cuando desarrollamos animales antropomórficos. Añadir huesos y controladores para la cola no es un problema muy grave, pero **puede tratarse de un problema a la hora de trabajar con datos de captura de movimiento**. En este tipo de datos, no estarán probablemente recogidos datos para animar la cola de un personaje, lo que significa que tendremos que animar desde cero estos controladores adicionales. En este proyecto no se han implementado por completo animaciones con capturas de movimiento, pero sí se han realizado pequeñas pruebas para llegar a la anterior conclusión.

La animación facial mediante el uso de blend shapes fue el método escogido debido a que consideré que sería el más apropiado, esto es porque la anatomía de la cabeza de este tipo de personajes varía mucho en comparación a un ser humano (prácticamente la cabeza es completamente animal) y decidí usar este método en lugar de usar más controladores (como usa el resto del esqueleto). El motivo de usar más controladores para la cabeza fué debido a que pensé que esto podría conllevar muchos más problemas especialmente en áreas muy diferentes al ser humano como el hocico, donde definir influencias (durante la fase de Skinning) para la geometría de cada controlador podría volverse algo muy caótico y porque pienso que las blend shapes pueden ofrecer una forma diferente y sencilla de animar expresiones faciales predefinidas.

Los animales antropomórficos, usualmente, tienen el cuerpo cubierto de pelo. Durante años en las películas de animación se han utilizado técnicas que permiten representar este pelaje animado y con volumen, y de ahí surgió la idea de incorporarlo a este proyecto. El problema es que **las herramientas utilizadas para añadir pelaje 3D a un personaje consumen muchos recursos del ordenador** (especialmente si quieres ver el resultado en tiempo real) por lo que puede ser muy difícil trabajar si tu equipo no es muy potente.

Muchos de estos problemas pueden ser aplicados a cualquier tipo de personaje que se salga un poco de lo usual en relación con un ser humano corriente, pero algunos de los mencionados anteriormente tienen mucha más probabilidad de ser encontrados cuando queremos desarrollar animales antropomórficos en 3D.

10.3. Mejoras futuras

Cuando pregunté a otras personas acerca de opinión sobre los personajes, recibí comentarios muy variados. A algunas personas les impresionó, mientras que otros piensan que el estilo elegido puede chocar bastante entre los elementos exagerados de dibujos animados y realismo, probablemente debido al estilo más realista que nos proporciona el pelaje de XGen. A pesar de que este tipo de opinión es subjetiva, considero importante que un personaje guste al mayor número de personas posibles para conseguir más público para un producto. Creo que la forma de mejorar los personajes en este aspecto sería, quizá, haciendo varios retoques en la geometría estudiando mejor cómo otros referentes (como la película de disney Zootrópolis) consiguen que sus personajes mezclen de forma satisfactoria el estilo realista con el cartoon.

Referente al rigging, hay varias partes del cuerpo que no incorporan IK/FK Switch para cambiar de tipo de cinemática, como los dedos o la cabeza. Implementar IK/FK Switch en absolutamente todos los joint del esqueleto podría permitir un mayor control sobre el esqueleto. También se puede considerar añadir soporte para controladores en los dedos de los pies de los personajes, ya que actualmente se mueven todos al unísono.

Otra mejora referente al rigging sería incorporar huesos para animación facial. En este proyecto se han utilizado blend shapes porque las consideré mejor opción, pero podrían añadirse métodos alternativos para animar la cabeza de forma similar al resto del esqueleto. Además, respecto a las blend shapes, se podrían añadir controladores físicos para cambiar las expresiones faciales con un controlador que podamos ver en la escena en vez de utilizar el Shape Editor de Maya. Otra posible mejora, por supuesto, es añadir más blend shapes a los modelos (en este trabajo sólo se han incluido unos pocos a modo de ejemplo). Incluso se podrían añadir métodos para simular la animación del habla (lyp sync 3D animation).

Se han hecho pequeñas pruebas para implementar captura de movimiento en los personajes, pero de momento ha sido de forma mínima. Se deberían realizar más pruebas para comprender si estos personajes son realmente apropiados para utilizar datos de animación de este tipo. En las pruebas que he podido realizar hasta el momento, parece que los personajes pueden ser capaces de aprovechar los datos siempre y cuando se retoquen los errores producidos y se animen a mano los componentes adicionales del esqueleto de los personajes (como la cola en el caso de Rapus).

El pelaje implementado con Xgen puede ser mejorado para conseguir mejores efectos. Apenas sabía nada sobre esta herramienta antes de utilizarla en este proyecto, y todavía me queda mucho por aprender de la misma. Estoy seguro de que, una vez la consiga dominar mejor, los resultados del pelaje de estos personajes serían mucho más profesionales.

A la hora de mejorar personajes en 3D, creo que existen infinitas posibilidades. Estoy muy agradecido de haber podido tener la oportunidad de desarrollar este proyecto, ya que la animación 3D es un campo que me interesa mucho y del que quiero poder seguir formándome. Vídeos relativos a este proyecto y a proyectos futuros podrán ser encontrados en mi canal de YouTube, SolerMultimedia. Ha sido muy interesante y he aprendido mucho acerca de nuevas tecnologías, cómo se trabaja en la industria y qué aspectos debo mejorar para ser un mejor profesional.

Referencias

1. BEANE, Andy. **3D Animation Essentials**. by John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana, 2012. ISBN 978-1118147481.
2. KERLOW, Isaac. **The Art of 3D Animation and Effects**. 4th Revised & enlarged edition. Wiley, 13 de Abril de 2009. ISBN 978-0470084908.
3. Animación. Definición. Diccionario de la lengua española | RAE
URL: <https://dle.rae.es/animaci%C3%B3n>
4. Animation noun. Oxford Learner's Dictionaries URL:
<https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/animation#:~:text=%E2%80%8B,and%20animals%20seem%20to%20move>
5. Shahr-i Sokhta. UNESCO - World Heritage List. URL:
<https://whc.unesco.org/en/list/1456/>
6. CHTHO's Cultural Blunder and Documentary Production on World's Oldest Animation. CAIS The Circle of Ancient Iranian Studies. 4 de marzo de 2008.
URL: <http://www.cais-soas.com/News/2008/March2008/04-03.htm>
7. La animación más antigua de la historia está representada en un cuenco persa de hace 5.200 años. TERRAE ANTIQVAE. 18 de marzo de 2008. URL:
<https://terraeantiquae.blogia.com/2008/031801-la-animaci-n-m-s-antigua-de-la-historia-est-representada-en-un-cuenco-persa-de-.php>
8. de Luikerwaal. Virtueel toverlantaarn museum [página web interactiva]. URL:
https://www.luikerwaal.com/indexx_uk.htm
9. About magic lanterns. Magic Lantern Society. URL:
<http://www.magiclanternsociety.org/about-magic-lanterns/>
10. The Thaumatrope Revisited; or: "a round about way to turn'm green". StephenHerbert.co.uk Disponible en:
<http://www.stephenherbert.co.uk/thaumatropeTEXT1.htm>
11. *Film Before Film* [Documental]. NEKES, Werner. 1986.

12. Optisches Spielzeug oder wie die Bilder laufen lernten. Füsslin.de URL:
<https://www.fuesslin.de/index.php?id=53&L=2>
13. The Phenakistiscope, and Stroboscopic Disc. StephenHerbert.co.uk URL:
<http://www.stephenherbert.co.uk/phenakPartOne.htm#fn7>
14. Zoòtrop de corda. Página oficial del “Museo del Cinema” de Girona. URL:
http://www.museudelcinema.cat/cat/colleccio_objectes.php?idcat=646&idreg=1212
15. From Daedaleum to Zoetrope, ' ... the most wonderful antics that ever a nightmare invented to puzzle the brain - Part Two'. Stephenherbet.co.uk. URL:
<http://www.stephenherbert.co.uk/wheelZOETROPEpart2.htm>
16. [AnimationIL] “Pixar’s Zoetrope” (subido el 27 de marzo de 2010). YouTube
<<https://www.youtube.com/watch?v=5khDGKGv088>>
17. Flip books – A brief history. Flippies.com. URL:
<http://www.flippies.com/flip-books-history/>
18. History. FLIPBOOK.info URL: <http://www.flipbook.info/history.php>
19. Praxinoscopes. Kenyon College Department of Physics. URL:
http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Optical_Recreations/Praxinoscopes/Praxinoscopes.html
20. Praxinoscopio. Página oficial del Patrimonio Nacional. URL:
<https://www.patrimonionacional.es/coleccion-reales/juegos-y-diversiones/praxinoscopio>
21. PIZARRO VEGLIA, Martín [Praxinoscopio Films]. “El Praxinoscopio de Émile Reynaud (Microdocumental)” (subido el 2 de marzo de 2015). YouTube
<<https://www.youtube.com/watch?v=ekSgB1mVPnU>>
22. WELLS, Paul. *Understanding Animation*. N.º 1 edición. Routledge, 28 de mayo de 1998. ISBN 978-0415115971.
23. HEGINBOTHAM, Claire. What Is Cel Animation & How Does It Work? En: *ConceptArtEmpire* [en línea]. Disponible en: <https://conceptartempire.com/cel-animation/>
24. The History of Animation. URL: <https://history-of-animation.webflow.io/>

25. 3D Animation Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technique (3D Modeling, Visual Effects), By Component, By Deployment (On-premise, On-demand), By End Use, And Segment Forecasts, 2021 – 2028. GrandViewResearch.com. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-animation-market>
26. Computer Animation. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_animation
27. Antropomorfismo. Definición. Diccionario de la lengua española | RAE URL: <https://dle.rae.es/antropomorfismo>
28. Anthropomorphism noun. Oxford Learner's Dictionaries. URL: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/anthropomorphism?q=anthropomorphism>
29. Zoomorfismo. Lexico (powered by Oxford). URL: <https://www.lexico.com/es/definicion/zoomorfismo>
30. COLLIGNON, Stéphane. *They Walk! They Talk! A study of the anthropomorphiaation of non human characters in animated films*. Université de Liege – Université libre de bruxelles, Université D'europa. 2008. Disponible en: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/172000>
31. LEAROYD, Joseph. Men and Beasts | Anthropomorphism in Character Animation. En: *Headstuff* [en línea]. 22 de Julio de 2019. Disponible en: <https://www.headstuff.org/culture/visual-arts/men-and-beasts-anthropomorphism-in-character-animation/>
32. BLISS E., Gillian. Redefining the anthropomorphic animal in animation [en línea]. Autor: Tesis. Epinal Way, Loughborough: Loughborough University. 1 de Enero de 2017. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2134/27423>
33. CRAFTON, Donald. *Before Mickey: The Animated Film 1898-1928*. Reprint Edition. University of Chicago Press. 1982. ISBN 978-0226116679
34. Robin Hood (1973 Film). Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Robin_Hood_\(1973_film\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Robin_Hood_(1973_film))
35. Stereotypes of animals. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Stereotypes_of_animals

36. THOMAS, Frank y OLLIE, Johnston. *Disney animation: the illusion of life*. Nº1 Edition. Hyperion. 21 de marzo de 1997. ISBN 978-0786860708.
37. GRANT, John. *The Encyclopedia of Walt Disney's Animated Characters: From Mickey Mouse to Hercules*. Hyperion. 30 de Mayo de 1998. ISBN 978-0786863365.
38. DUNCAN, Matt. Consumerism, Aristotle and Fantastic Mr. Fox. En: *Film-Philosophy* [en línea]. 2015. Disponible en: <https://www.euppublishing.com/doi/10.3366/film.2015.0014>
39. FARRELL, Ann. How Zootopia Can Inspire Acceptance and Change. En: *Lexia: Undergraduate Journal in Writing, Rhetoric & Technical Communication* [en línea]. Volume V, Article 10. Disponible en: <https://commons.lib.jmu.edu/lexia/vol5/iss1/10>
40. BEAUDINE, Gregory; OSIBODU, Oyemolade y BEAVERS Aliya. Disney's Metaphorical Exploration of Racism and Stereotypes: A Review of Zootopia. En: *The University of Chicago Press Journals* [en línea]. Disponible en: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/690061>
41. PARASHAR, Poorva. Bojack Horseman and Mental Health: An Academic Exploration of Existentialist Themes. Publicación. Bombay (India): Tata Institute of Social Sciences. 19 de Mayo de 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341489156_Bojack_Horseman_and_Mental_Health_An_Academic_Exploration_of_Existentialist_Themes
42. DE KOSTER, Lander. Animals and Social Critique in BoJack Horseman. Disertación. Gante, Bélgica: Universidad de Bélgica. (Master of Arts in Comparative Modern Literature). 2018. Disponible en: <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:002508384>
43. KATSURA, Shreyansh. Biomutant's Character Creation Explained [en línea] – En: *GameRant*. 4 de Marzo de 2021. Disponible en: <https://gamerant.com/biomutant-character-creation-explained-stats-mutation/>
44. The Complete Guide to 3D Character Modeling for the Uninitiated. Kevurugames.com. URL: <https://kevurugames.com/blog/the-complete-guide-to-3d-character-modeling-for-the-uninitiated/>
45. Tris, Quads & N-Gons. Turbosquid 3D Resources. URL: <https://resources.turbosquid.com/training/modeling/tris-quads-n-gons/>

46. Modeling with quads or triangles. What should I use?. Vertheim.com URL: <https://www.vertheim.com/modeling-with-quads-or-triangles---what-should-i-use.html>
47. OSIPA, Jason. *Stop Staring: Facial Modeling and Animation Done Right*. John Wiley & Sons Ltd. 8 de octubre de 2010. ISBN 978-0470609903
48. PARKER, Tom. 2020. Facial Topology mini tutorial. En: Artstation [post con imágenes]. URL: <https://www.artstation.com/artwork/3oyVag>
49. LAMPEL, Jonathan. Blender Mesh Modeling Bootcamp [curso en línea]. En: *CGCookie.com, Amazing Blender 3D Tutorials at your fingertips* [en línea]. URL: <https://cgcookie.com/course/mesh-modeling-bootcamp>
50. *What is Box Modeling and how does it work?*. *Liferwire.com*. - URL: <https://www.lifewire.com/box-modeling-2150>
51. T Pose vs A Pose?. En: Polycount.com, the polycount newsfeed [foro en línea]. Octubre de 2017. Disponible en: <https://polycount.com/discussion/192810/t-pose-vs-a-pose>
52. To T Pose or Not to T Pose. En: Polycount.com, the polycount newsfeed [foro en línea]. Junio de 2018. Disponible en: <https://polycount.com/discussion/202303/to-t-pose-or-not-to-t-pose>
53. Foro Maya Animation And Rigging - Rig A-pose (not T-pose) with HumanIK. En: *Autodesk Forums - Maya animation and Rigging (forums.autodesk.com)* [en línea]. 30 de Abril de 2016. Disponible en: <https://forums.autodesk.com/t5/maya-animation-and-rigging/rig-a-pose-not-t-pose-with-humanik/td-p/6301654>
54. HumanIK and Stance pose. En: *Autodesk Forums - Maya animation and Rigging (forums.autodesk.com)* [en línea]. 5 de Mayo de 2017. Disponible en: <https://forums.autodesk.com/t5/maya-animation-and-rigging/humanik-and-stance-pose/td-p/7063599>
55. *Disney character artist shares his story*. Rigging Dojo. URL: <https://www.riggingdojo.com/2016/02/13/disney-character-artist-shares-his-story/>
56. ENGLÄNDER, Ferdinand. The T-pose – all about this mighty En: *Animator Island* [en línea]. 26 de Mayo de 2015. Disponible en: <https://www.animatorisland.com/the-t-pose-all-about-the-mighty-blueprint/?v=04c19fa1e772>

57. ROSLI ARSSHAD, Mosli; HAE YOON, Kim y MANAF, Azaini. Physical Rigging Procedures Based on Character Type and Design in 3D Animation. En: *International Journal of Recent Technology and Engineering* [en línea]. Octubre de 2019. https://www.researchgate.net/publication/336306246_Physical_Rigging_Procedures_Based_on_Character_Type_and_Design_in_3D_Animation
58. Tech Project: Fur Grooming. Disney Animation. Julio de 2019. URL: <https://www.disneyanimation.com/technology/fur-grooming/>
59. CLEWEY, Robin. *Monsters, Inc. Used Monster Tools*. En: *Wired* [en línea]. 2 de noviembre de 2001. Disponible en: <https://www.wired.com/2001/11/monsters-inc-used-monster-tools/>
60. BOUQUET, François. Warrior Leopard. En: Artstation [post con imágenes]. 2019. Disponible en: <https://www.artstation.com/artwork/rRZ5oG>
61. S., Maxim. What is HDRI? En: VRender: Architectura Render and Animation (Rendering Blog) [en línea]. 27 de Octubre de 2016. Disponible en: <https://vrender.com/what-is-hdri/>
62. Imágenes de alto rango dinámico. Wikipedia. URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Im%C3%A1genes_de_alto_rango_din%C3%A1mico
63. Risk Management Network - Identify Risks. Chartered Accountants Australia and New Zealand. URL: https://survey.charteredaccountantsanz.com/risk_management/small-firms/identify.aspx
64. Risk Management Network - Analyse & Evaluate Risks. Chartered Accountants Australia and New Zealand. URL: https://survey.charteredaccountantsanz.com/risk_management/small-firms/analyse.aspx
65. Tratamiento del Riesgo [documento en línea]. En: Comunidad de Madrid (recursos para emprendedores) [en línea]. Disponible en: http://www.madrid.org/cs/StaticFiles/Emprendedores/Analisis_Riesgos/pages/pdf/metodologia/5TratamientodelRiesgo%28AR%29_es.pdf
66. Gestión de riesgos ISO 9001: Plan de contingencia. Escuela Europea de Excelencia. 2016.

- URL: <https://www.escuelaeuropaexcelencia.com/2016/09/gestion-de-riesgos-plan-contingencia/>
67. Risk Management Network – Treat Risks. Chartered Accountants Australia and New Zealand. URL: https://survey.charteredaccountantsanz.com/risk_management/small-firms/treat.aspx
68. Risk Management Network - Monitor & Review. Chartered Accountants Australia and New Zealand. URL: https://survey.charteredaccountantsanz.com/risk_management/small-firms/monitor.aspx
69. Maya Overview. Autodesk.es. URL: <https://www.autodesk.es/products/maya/overview>
70. What is Autodesk Maya? Edulearn.com – https://www.edulearn.com/article/what_is_autodesk_maya.html
71. History. Mayabooks.org. URL: <https://web.archive.org/web/20101125035450/http://www.mayabooks.org/>
72. The Advanced Visualizer. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/The_Advanced_Visualizer
73. THOMSON DIGITAL IMAGE (TDI). People behind the pixels, the history of computer graphics (Historyofcg.com). URL: <https://www.historyofcg.com/pages/thomson-digital-image/>
74. PowerAnimator. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/PowerAnimator>
75. Dinosaurio (2000). Internet Movie Database (imdb.com) - URL: <https://www.imdb.com/title/tt0130623/>
76. How did Autodesk Maya became so popular?. Simplymaya.com. 26 de Abril de 2015. URL: <https://simplymaya.com/sm-news-articles/66/how-did-autodesk-maya-become-so-popular?/>
77. WOLFE, Jennifer. Autodesk Tools Used on 14 Oscar-Nominated Films En: *AWN - Animator World Network* [en línea]. 17 de Febrero de 2012. Disponible en: <https://www.awn.com/news/autodesk-tools-used-14-oscar-nominated-films>

78. XGen learning paths. Autodesk Maya Support and learning. URL:
<https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Maya-CharEffEnvBuild/files/GUID-C0470142-600B-4615-8110-EC779934DF5F-htm.html>
79. XGen Interactive Grooming. Autodesk Maya Support and learning. URL:
<https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Maya-CharEffEnvBuild/files/GUID-496603B0-F929-45CD-B607-1CFCD3283DBE-htm.html>
80. Arnold. Arnold Renderer. URL: <https://www.arnoldrenderer.com/arnold/>
81. About. Arnold Renderer. URL: <https://www.arnoldrenderer.com/about/>
82. News - Iron Man 3. Arnold Renderer. URL:
<https://www.arnoldrenderer.com/news/iron-man-3-luma/>
83. News – Pacific Rim. Arnold Renderer. URL:
<https://www.arnoldrenderer.com/news/pacific-rim/>
84. ROBINSON, April. 6 heroic feats by Framestore in “Guardians of the Galaxy Vol. 2”. En: *Area.autodesk.com – Life in 3D* [en línea]. 22 de Febrero de 2018. Disponible en:
<https://area.autodesk.com/life-in-3d/6-heroic-feats-framestore-pulled-off-for-guardians-of-the-galaxy-vol-2/>
85. News – Witcher 3: Wild Hunt. Arnold Renderer. URL:
<https://www.arnoldrenderer.com/news/witcher-3-wild-hunt/>
86. News – Cloudy with a chance of meatballs. Arnold Renderer. URL:
<https://www.arnoldrenderer.com/news/cloudy-with-a-chance-of-meatballs/>
87. Products – Substance. Adobe. URL:
<https://www.adobe.com/es/products/substance.html>
88. Products - Substance Painter. Substance. Disponible en:
<https://www.substance3d.com/products/substance-painter/>
89. Substance Share, The Free Exchange Platform. URL:
<https://share.substance3d.com/>

90. About Us. Substance. URL:
<https://www.substance3d.com/about-us>
91. BOSSNET, Pierre. TEXTURING HERO ASSETS ON THE MOVIE PACIFIC RIM: UPRISING WITH DNEG. En: Blog de *store.substance.3d.com* [en línea]. 22 de Septiembre de 2018. Disponible en: <https://store.substance3d.com/blog/texturing-hero-assets-movie-pacific-rim-uprising-dneg>
92. The Highly Stylized World of Frozen 2. Magazine.Substance3D.com. 24 de Diciembre de 2019. URL: <https://magazine.substance3d.com/the-highly-stylized-world-of-frozen-2/>
93. Apex Legends – Texturing the Battle Royale Phenomenon of 2019. Magazine.Substance3D.com. 29 de Mayo de 2019. URL: <https://magazine.substance3d.com/apex-legends-texturing-battle-royale-phenomenon-2019/>
94. BOSSNET, Pierre. BETWEEN MODELING AND TEXTURING: SUBSTANCE DESIGNER IN ROCKET LEAGUE. En: Blog de *store.substance.3d.com* [en línea]. 13 de Febrero de 2019. Disponible en: <https://store.substance3d.com/blog/between-modeling-and-texturing-substance-designer-rocket-league>
95. GIMP. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/GIMP>
96. PAYL, Ryan. GIMP 2.6 released, one step closer to taking on Photoshop. En: *Arstechnica* [en línea]. 2 de Octubre de 2008. Disponible en: <https://arstechnica.com/information-technology/2008/10/gimp-2-6-released-one-step-closer-to-taking-on-photoshop/>
97. CHASTAIN, Sue. GIMP Free, Open-Source, Multi-Platform Image Editor. En: *Lifewire: Tech News, Reviews, Help & How-Tos* [en línea]. 2 de Diciembre de 2019. Disponible en: <https://www.lifewire.com/the-gimp-review-1701606>
98. Sitio web oficial de Mixamo. URL: <https://www.mixamo.com/>
99. Mixamo. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mixamo>
100. PatiCrafties. Instagram. URL: <https://www.instagram.com/paticrafties/?hl=es>

101. TAYLOR, James [James Taylor]. "Maya bodybuilder CHARACTER MODELING tutorial" (subido el 12 de Noviembre de 2014). Youtube<<https://www.youtube.com/watch?v=spi4lGxnMZg>>.
102. Topology Guides – Guides for 3d Artists (topologyguides.com). URL: <https://topologyguides.com/>
103. CABALLER, Sergi. 3D Facial Modeling Timelapse [vídeo en línea]. En: *Sergicaballer.com* [en línea]. 9 de Septiembre de 2013. Disponible en: <https://www.sergicaballer.com/3d-facial-modeling-timelapse/>
104. [SKYE]. Taryk. Septiembre de 2019. En: *Sketchfab – 3D Models* [en línea] [post con un modelo 3D]. Disponible en: <https://sketchfab.com/3d-models/taryk-fb40da915b964356938fe59ef300d467>
105. [ZAB]. Foxc. Diciembre de 2019. En: *Sketchfab – 3D Models* [en línea] [post con un modelo 3D]. Disponible en: <https://sketchfab.com/3d-models/foxc-90f7c17afddd467385b207a129e44bfe>
106. Attribution-ShareAlike 4.0 International (licencia de creative commons). Creative Commons. URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
107. Artstation - Romain Lemaire. URL: <https://www.artstation.com/rlemaire>
108. LEMAIRE, Romain. Substance Painter Fur Materials. En: *Artstation* [en línea] [post con imágenes]. Disponible en: <https://www.artstation.com/artwork/1Vo5K>
109. LEMAIRE, Romain. Substance Painter Fur Materials [enlace de descarga]. En: *Gumroad.com* [en línea] Disponible en: <https://gumroad.com/l/gmkxz>
110. [t3r3nc3101]. Dog Nose. En: Substance Share, the free exchange platform [en línea] [material para Substance Painter]. Disponible en: <https://share.substance3d.com/libraries/3310>
111. [evaughan]. Tongue Taste Buds. En: Substance Share, the free exchange platform [en línea] [material para Substance Painter]. Disponible en: <https://share.substance3d.com/libraries/6046>

112. [Allegorithmic]. SP 1 Fur Cow Short. En: Substance Share, the free exchange platform [en línea] [material para Substance Painter]. Disponible en: <https://share.substance3d.com/libraries/1748>
113. [Zack xia]. Eyeball Cartoon. En: Substance Share, the free exchange platform [en línea] [material para Substance Painter]. Disponible en: <https://share.substance3d.com/libraries/5981>
114. Export Window. Substance Painter Documentation. URL: <https://docs.substance3d.com/spdoc/export-window-98959396.html>
115. A basic introduction to PNG features. PNG Official Site (libpng.org). URL: <http://www.libpng.org/pub/png/pngintro.html>
116. Smooth mesh preview overview. Autodesk Maya User Guide. 30 de Julio de 2019. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Maya-Modeling/files/GUID-4863E5AE-0EAO-4596-B1AE-10C19603838E-htm.html>
117. Smooth polygon meshes at render time. Autodesk Maya User Guide. 11 de Mayo de 2016. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-E996B5E6-7CB7-46C3-81E8-7FBC5A0BD9D2-htm.html>
118. Hypershade Window. Autodesk Maya User Guide. 30 de Julio de 2019. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Maya-LightingShading/files/GUID-252707EC-4AAF-4D3F-9600-804F783652B7-htm.html>
119. Standard Surface. Arnold Documentation. URL: <https://docs.arnoldrenderer.com/display/A5AFMUG/Standard+Surface>
120. Standard Surface – Base. Arnold Documentation. URL: <https://docs.arnoldrenderer.com/display/A5AFMUG/Base>
121. File texture node. Autodesk Maya User Guide. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn->

- explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-309A77DA-F5ED-4474-8413-317D7AB241E6-htm.html
122. Standard Surface – Specular. Arnold Documentation. URL:
<https://docs.arnoldrenderer.com/display/A5AFMUG/Specular>
 123. Standard Surface – Geometry. Arnold Documentation. URL:
<https://docs.arnoldrenderer.com/display/A5AFMUG/Geometry>
 124. N. L. Max and B. G. Becker. Bump shading for volume textures. En: *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14, no. 4, pp. 18-20. Julio de 1994 (doi: 10.1109/38.291525). Disponible en:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/291525?arnumber=291525>
 125. Standard Surface – Coat. Arnold Documentation. URL:
<https://docs.arnoldrenderer.com/display/A5AFMUG/Coat>
 126. CORDERO, Lawrence [Lawrence Cordero]. “Facial Rigging - Setting up the head for blendShapes” (subido el 7 de junio de 2019). Youtube<<https://www.youtube.com/watch?v=Dqmv9am72vc>>.
 127. [3dEx]. “Autodesk Maya 2018 - Simple Character Rigging” (subido el 29 de Diciembre de 2017). Youtube<<https://www.youtube.com/watch?v=cOokoFED7QE>>
 128. Tutorials - Joint. Jawa9000.com. URL:
http://www.jawa9000.com/tutorials/3D/Joint_Orientation.html
 129. Maya Downloads. Comet-cartoons.com. URL: <http://www.comet-cartoons.com/maya.html>
 130. What is IK/FK. Reallusion Animation: 3D Animations and 2D Cartoons made simple. URL:
https://www.reallusion.com/iclone/help/iclone4/Pro/08_Animation/Motion_Layer/What_is_IK_FK.htm
 131. [3dEx]. “Autodesk Maya 2018 - FK Arm Rigging Set up” (subido el 13 de febrero de 2018). YouTube<<https://www.youtube.com/watch?v=N9gP4Vp-hgc>>
 132. [Render de Martes]. “How to rig a Tail (How I rig a tail...)” (subido el 14 de julio de 2019). Youtube<<https://www.youtube.com/watch?v=BgpMYtqVQkA>>

133. PLANTELL, Stig. [Stig Plantell]. "Eyeball Aim Constraint Rigging in Maya" (subido el 13 de septiembre de 2017). YouTube<https://www.youtube.com/watch?v=JGG0-H_NqaY>
134. Paint Skin Weights. Autodesk Maya User Guide. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Maya-CharacterAnimation/files/GUID-7D773C38-F9CF-4141-8ADD-4E0454838BB7-htm.html>
135. Why Do Cartoons Have 4 Fingers?. MalcomMonteith.com. URL: <https://www.malcolmmonteith.com/why-do-cartoons-have-4-fingers/>
136. MARDÓNEZ, Juan Paulo. 3D Hair Creation with Maya Xgen [curso en línea]. En: *Domestika* [en línea]. Disponible en: <https://www.domestika.org/en/courses/566-3d-hair-creation-with-maya-xgen>
137. Página web oficial de HDRIHaven.com URL: <https://hdrihaven.com/>
138. Licencia CC0 1.0 Universal (CC0 1.0) Ofrecimiento al Dominio Público. Creative Commons. URL: https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.es_ES

Apéndice I – Orígenes y evolución de la animación por computador (1950-2000)

La historia de la animación por computador es muy amplia, y cada década contó con innumerables avances. En este apartado pretendo quedarme con los avances y ejemplos que considero más relevantes para entender, de forma muy resumida, cómo fue el origen y evolución de la animación por computador. La mayoría de información de este apartado fue obtenida del libro *“The Art of 3D Animation and Effects”* de Isaac Kerlow. [2]

1950-1960:

Podríamos decir que los orígenes de las primeras máquinas que conocemos como “ordenador” o “computador” datan de 1938 y 1943, con las máquinas Z1 de Konrad Zuse y el ordenador Colossus respectivamente [1]. El primer ordenador que hizo uso de un tubo de rayos catódicos fue el ordenador *Whirlwind* del instituto tecnológico de Massachusetts (MIT) en los años 50. [2]

Se crea a finales de los cincuenta la secuencia introductoria de la película “Vértigo” de Alfred Hitchcock a manos de John Whitney Sr, la cual podríamos considerar uno de los ejemplos de animación por computador primeros en la historia. [1]

1960-1970:

La tecnología todavía era demasiado cara y rudimentaria, la gente no tenía acceso a los ordenadores en esta época [2]. Sin embargo, el término “gráficos por computador” o CG fue creado por William Fetter en 1960 y durante esta época se hace una gran serie de avances en el sector [1]. Empiezan también a crearse los primeros videojuegos con gráficos. [1]

Algunos proyectos importantes de la época son:

- William Fetter crea varios modelos 3D incluyendo un cuerpo humano, llamado “the Boeing Man”. [1]
- En 1965, Michael Noll y Bela Julesz crean una serie de animaciones 3D estereoscópicas. [2]
- Mr. Computer Animation ABC fué creado en 1962. Fue un experimento de animación de un personaje por computador realizado con el sistema “*Scanimate*”. [2]

- Se desarrolla el software *Sketchpad*, que permitiría a las personas interactuar con elementos gráficos en forma de wireframes (representación en 3D de un objeto 3D conformado de vértices y ejes, los ejes son renderizados por el computador para que podamos percibir su forma tridimensional con nuestros ojos). [2]
- Se desarrollaron algoritmos que permitían eliminar las superficies ocultas de los modelos (no mostrar las zonas del modelo que no vemos para ahorrar trabajo de cómputo al ordenador). [2]
- *The Mathematical Applications Group* o MAGI empezó a desarrollar animaciones de polígonos a color como objeto de marketing, su trabajo se llamó *Synthavision*. [2]
- ...

1970-1980:

Los ordenadores se hacen más pequeños y potentes, también se vuelven más comunes para artistas y están más al alcance de las personas. Poco a poco, se puede apreciar cómo la tecnología empieza a estar cada vez más presente en la vida de las personas y la industria paralelamente hace innumerables progresos. Se empezaron a crear las primeras técnicas de rendering, shading y bump mapping, entre muchos otros avances. Los videojuegos con gráficos disfrutaban de una gran popularidad y auge. [2]

Algunos de los ejemplos más destacados de avances y proyectos de esta época son:

- Un trabajo destacado en esta época fue *Voyager 2*, que recreaba las exploraciones de la nave espacial "*Voyager 2*". Mostraba el uso del *Image Mapping* en la época. [2]
- *Hunger* (1974) es otra obra realizada en esta época y demuestra cómo se utilizaban técnicas de interpolación en cortos animados. [2]
- En 1977, *Industrial Light & Magic* creó los efectos visuales para *Star Wars*. Esto fue muy significativo, pues atrajo el interés de las personas hacia los efectos especiales incorporados en películas de acción real. [2]
- ...

1980-1990:

En esta época aparecen las arquitecturas RISC (*Reduced Set Architecture*) de 32 y 64 bits y se dedica a mejorar todo lo que introdujo la década anterior. Además, varios centros académicos (entre los que se destacan la Universidad de California – Berkeley y la universidad de Tokyo / Osaka) fueron los pioneros en la investigación y desarrollo de nuevos elementos que cambiarían completamente la animación por ordenador. Varios cortometrajes se realizaron en esta época haciendo uso de muchos de estos elementos descubiertos. También se descubre la radiosity y las texturas procedurales. [2]

Otro de los acontecimientos más importantes es que se empezó a desarrollar software con interfaces para manipular gráficos y animaciones 3D. [2]

En relación a empresas del sector, Pixar fué fundado en 1985. Crearon una serie de cortos Luxo Jr., Red's Dream, Tin Toy... que se centraban sobretodo en la animación de personajes. Los cortos que desarrollaron mostraron las leyes que se aplican a la animación de personajes (*los 10 principios de la animación tradicional*) que se usan en la animación 2D pueden ser aplicados a personajes realizados por computador. [2]

Entre muchas otras cosas, los descubrimientos y obras destacados de esta época son:

- El lenguaje de shading "*RenderMan*" fué publicado en esta época por Pixar [2]
- Los centros de investigación mencionados anteriormente realizan investigaciones y descubrimientos relacionados con Radiosity, Motion Dynamics, Spline Modeling, Character Animation, Lip Sync, Blobby surfaces, Lightning, Metaballs... [2]
- Cindy fué el primer personaje virtual creado en 3D para la película de ficción Looker. [2]
- Tron (1982) fué la primera película con 20 minutos de metraje realizado por ordenador. [2]
- Young Sherlock Holmes (1985) introdujo un personaje completamente en CGI en una escena. [2]
- Start Trek 2: The wrath of Kahn incluyó escenas que destacaban por su uso de sistemas de partículas y modelado modular. [2]
- La universidad de Hiroshima durante esta época trabajó para desarrollar simulaciones de efectos como luz, niebla, lluvia... [2]

- La animación "*Don't touch me*" de 1989 muestra al primer personaje humano con animación por captura de movimiento y animación facial (se trata del modelo de una mujer en 3D a la que se han aplicado los datos capturados por movimiento de una cantante real). [2]
- La animación "*The little death*" (1989) utiliza versiones muy primarias de mapas de desplazamiento y superficies de subdivisión. [2]
- Vemos también ejemplos de cómo varios tipos de animación pueden co-existir en un mismo proyecto. "*Technological Threat*" (1988) es un corto en el que se usa tanto animación por computador como animación tradicional. [2]
- ...

1990-2000:

En esta época, se comenzó a ver como los ordenadores aumentaron drásticamente su potencia. Se crearon co-procesadores dedicados exclusivamente a la aceleración de los gráficos tridimensionales. Los desarrolladores y programas de modelado tridimensional se iban volviendo cada vez más fáciles de usar y la tecnología iba siendo cada vez más amigable para el público. [2]

En relación a empresas importantes del sector, Pixar perfecciona una técnica muy importante de modelado 3D: las superficies de subdivisión. En su corto animado "*Geri's Game*" ("*El maestro del ajedrez*" en España), se pueden observar los resultados de esta técnica y avances en las técnicas textiles 3D, todo ello renderizado por *RenderMan*. Aparte de Pixar, múltiples compañías nacieron en esta época, como por ejemplo *Square Co. Ltd* (que en el futuro se convertiría en Square Enix) produciendo películas y videojuegos que hacían uso de la animación por computador. Por una parte *Sony* creó *Sony Imageworks* y *Disney*, por otra parte, firmó varios contratos con *Pixar* para realizar películas de animación. Durante esta época, también nació el concepto de "*granja de renderizado*". [2]

El resurgimiento de la industria de los videojuegos, que había surgido un ligero declive, impulsó el desarrollo de los gráficos cada vez más mejorados y realistas. Consolas como Nintendo 64, PlayStation y Dreamcast se beneficiaron de lo que podían ofrecer los animadores 3D. En esta época recibimos un amplio catálogo de videojuegos que han pasado a la historia en esta época y contaban con gráficos renderizados en 3D como "*Super Mario 64*" y "*The Legend of Zelda: Ocarina of Time*" que son considerados los precursores del género de plataformas y aventura y

serían usados como referente para futuros videojuegos. La industria del videojuego fue poco a poco incorporando gráficos en 3D más complejos. [2]

- *Terminator II* (1991) incluía animación que simulaba el movimiento humano, reflejos de un personaje creado por ordenador muy realista y impresionantes efectos de "*morphing*" (transformación de un objeto en otro diferente) para la época. [2]
- *Jurassic Park* incorporaba una gran cantidad de elementos animados por ordenador incorporados en esta película de acción real. Era, por ejemplo, la primera vez que un actor real tenía un doble usado para escenas de acción completamente modelado por ordenador. [2]
- *Los picapiedra* (1994) incluía técnicas de renderizado de pelo por computador en animales, un concepto que más tarde será utilizado por muchas películas hasta el día de hoy. [2]
- *Virtual Marilyn* (1991) es un proyecto que nos muestra un sistema muy primitivo de animación facial. [2]
- Disney también utilizó elementos muy interesantes para sus películas [2]:
 - "*La Bella y la Bestia*" (1991) posee una icónica escena en la que la cámara recorre el salón de baile en el que los dos personajes están bailando. El escenario está realizado en 3D (paredes, suelo, candelabro...) mientras que Bella y Bestia están dibujados a mano, ellos no están en 3D pero recorren el escenario de forma muy armoniosa.
 - "*Aladdín*" también fue una película que utilizó el 3D de forma muy extensa: la mayor parte de la alfombra mágica fue animada por ordenador, al igual que otros elementos del escenario.
 - "*El rey león*" también utilizó el 3D con técnicas de simulación de grandes grupos de personajes (*crowd simulation*) para crear su famosa escena de la estampida de ñus.
 - "*Tarzán*" utilizó una técnica muy revolucionaria para representar secuencias animadas, el "*deep canvas*".
- En 1995, "*Toy Story*" de Pixar fue el primer largometraje creado completamente por ordenador con técnicas de modelado y animación 3D. Tres años después, "*ANTZ*" y "*A*

Bug's Life ("Bichos" en España) también fueron largometrajes animados que vieron las salas de cine. [2]

- "*Los megasónicos*" fué una película de animación española de 1997 dirigida por Javier González de la Fuente y José Martínez Montero. Fue la primera película completamente realizada en animación 3D europea. [2]
- A finales de la década de los 90, existieron cada vez más películas que incorporaban personajes animados completamente en 3D junto a actores reales como "*Godzilla*" (1998) o "*Star Wars: Episodio 1 - La amenaza fantasma*" (1999). [2]
- "*Matrix*" (1999) fue altamente bien recibida gracias a sus efectos visuales nunca vistos. [2]
- "*The Iron giant*" (1999) ("*El gigante de hierro*" en España) combina animación tradicional pero con un personaje protagonista animado en 3D a diferencia del resto de personajes. [2]
- El videojuego "*Final Fantasy VIII*" (1999) poseía tanto modelos en 3D para el propio juego como escenas cinemáticas prerrenderizadas que utilizaban modelos de calidad más alta para determinadas escenas del juego, técnica que ha seguido utilizándose a través de los años. [2]
- ...

Apéndice II – Tabla de identificación de riesgos

Tabla 2. Identificación de riesgos

TIPO DE RIESGO	POSIBLE RIESGO
Organización	Existencia de tareas necesarias no definidas previamente.
Organización	Olvidar el origen de alguna referencia bibliográfica.
Organización	Incorrecta identificación de los riesgos en el plan de riesgos.
Organización	Medidas insuficientes o incompletas contra los riesgos encontrados.
Personal	Rendimiento inferior al esperado para completar las tareas.
Personal	Baja temporal / hospitalización.
Personal	Lesiones o dificultades físicas para trabajar correctamente.
Personal	Depresión o desmotivación.
Personal	Incapacidad para comunicarse con el tutor de trabajo de fin de grado.
Tecnología	Corrupción de archivos del proyecto.
Tecnología	Ruptura de hardware (ordenador portátil, disco duro...) utilizado para desarrollar el trabajo.
Tecnología	Mal rendimiento del software utilizado en el equipo portátil.
Tecnología	Conexión a internet insuficiente en los lugares de trabajo.
Tecnología	Capacidad de almacenamiento insuficiente para guardar los archivos necesarios para trabajar.
Herramientas	Incompatibilidad de archivos del proyecto entre diferentes ordenadores.
Herramientas	Conflictos al unir varios ficheros en el software de modelado.
Herramientas	Problemas al intentar hacer rigging de un modelo creado en el software de modelado.
Herramientas	Problemas para incorporar datos de captura de movimiento.
Herramientas	El rigging no permite crear los resultados esperados.
Estimación	Sobreestimación del tiempo que se dispone para desarrollar el proyecto.
Estimación	Infraestimación del tiempo que se dispone para desarrollar el proyecto.
Estimación	Infraestimación de tiempo para desarrollar una fase del proyecto.
Estimación	Sobreestimación de tiempo para desarrollar una fase del proyecto.

Estimación	No hay tiempo suficiente para crear todas las texturas.
Estimación	No hay tiempo suficiente para crear al segundo personaje.
Estimación	No hay tiempo suficiente para realizar un rigging completo.
Estimación	El trabajo no está listo para la fecha planificada.
Otros	El resultado final del proyecto no está siendo el esperado.
Otros	Terremoto u otras catástrofes naturales.
Otros	Accidente automovilístico.
Otros	Cancelación de la convocatoria de entrega de trabajos.
Otros	Cambio de horario o eliminación del transporte público para acceder a la universidad.

Apéndice III – Tabla de probabilidades y efectos de los riesgos

Tabla 3. Probabilidades y efectos de los riesgos

TIPO RIESGO	POSIBLE RIESGO	PROB.	EFFECTOS
Organización	Existencia de tareas necesarias no definidas previamente.	80%	SERIO
Organización	Olvidar el origen de alguna referencia bibliográfica.	5%	TOLERABLE
Organización	Incorrecta identificación de los riesgos en el plan de riesgos.	10%	SERIO
Organización	Medidas insuficientes o incompletas contra los riesgos encontrados.	10%	SERIO
Personal	Rendimiento inferior al esperado para completar las tareas.	20%	SERIO
Personal	Baja temporal / hospitalización.	5%	CATASTRÓFICO
Personal	Lesiones o dificultades físicas para trabajar correctamente.	5%	SERIO
Personal	Depresión o desmotivación.	20%	SERIO
Personal	Incapacidad para comunicarse con el tutor de trabajo de fin de grado.	5%	SERIO
Tecnología	Corrupción de archivos del proyecto.	5%	CATASTROFICO
Tecnología	Ruptura de hardware (ordenador portátil, disco duro...) utilizado para desarrollar el trabajo.	5%	SERIO
Tecnología	Mal rendimiento de renderizado en el equipo portátil.	40%	SERIO
Tecnología	Mal rendimiento del software utilizado en el equipo portátil.	30%	SERIO
Tecnología	Conexión a internet insuficiente en los lugares de trabajo.	1%	SERIO
Tecnología	Capacidad de almacenamiento insuficiente para guardar los archivos necesarios para trabajar.	60%	TOLERABLE

Herramientas	Incompatibilidad de archivos del proyecto entre diferentes ordenadores.	10%	SERIO
Herramientas	Conflictos al unir varios ficheros en el software de modelado.	30%	SERIO
Herramientas	Problemas al intentar hacer rigging de un modelo creado en el software de modelado.	20%	SERIO
Herramientas	Problemas para incorporar datos de captura de movimiento.	70%	SERIO
Herramientas	El rigging no permite crear los resultados esperados.	10%	SERIO
Estimación	Infraestimación del tiempo que se dispone para desarrollar el proyecto.	10%	SERIO
Estimación	Sobreestimación del tiempo que se dispone para desarrollar el proyecto.	1%	TOLERABLE
Estimación	Infraestimación de tiempo para desarrollar una fase del proyecto.	30%	SERIO
Estimación	Sobreestimación de tiempo para desarrollar una fase del proyecto.	50%	INSIGNIFICANTE
Estimación	No hay tiempo suficiente para crear todas las texturas a mano.	80%	TOLERABLE
Estimación	No hay tiempo suficiente para crear al segundo personaje.	5%	CATASTRÓFICO
Estimación	No hay tiempo suficiente para crear ningún personaje.	1%	CATASTRÓFICO
Estimación	No hay tiempo suficiente para realizar un rigging completo.	50%	SERIO
Estimación	El trabajo no está listo para la convocatoria planificada.	5%	SERIO
Otros	El resultado final del proyecto no está siendo el esperado.	15%	SERIO
Otros	Terremoto u otras catástrofes naturales.	0.1%	SERIO
Otros	Accidente aéreo o automovilístico.	0.1%	SERIO

Otros	Cancelación de la convocatoria de entrega de trabajos.	0.1%	SERIO
Otros	Cambio de horario o eliminación del transporte público para acceder a la universidad.	5%	SERIO

Apéndice IV – Tabla de planificación contra los riesgos

Tabla 4. Planificación contra los riesgos

TIPO RIESGO	POSIBLE RIESGO	PLANIFICACIÓN
Organización	Existencia de tareas necesarias no definidas previamente.	<p><i>Prevención:</i> Estudiar correctamente la forma de trabajar en proyectos similares, comprobando bien cada uno de los pasos necesarios, de modo que encontremos las mínimas tareas no planificadas posibles. Hacerse siempre a la idea de que pueden ocurrir contratiempos y es recomendable siempre dejar un margen de tiempo para tareas que puedan surgir a medida se va desarrollando el proyecto.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> En caso de encontrar tareas no planeadas, si estas no suponen una gran carga de tiempo o son parte de otra mayor intentar adaptarlas al plan establecido de planificación para que el proyecto siga más o menos planificado de la misma forma. Si las tareas que no se han tenido en cuenta ocupan una gran cantidad de tiempo y perturban la planificación inicial, habrá que detenerse para hacer una nueva planificación y, si es necesario, descartar todo aquello que no tenga tanta importancia para hacer hueco a las tareas realmente relevantes.</p>
Organización	Olvidar el origen de alguna referencia bibliográfica.	<p><i>Prevención:</i> Una vez se haya escrito en la memoria algo que ha sido consultado en una fuente externa, inmediatamente después se debe actualizar el apartado de referencias.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se ha olvidado actualizar este apartado, se puede hacer una consulta en el historial del navegador web para intentar localizar la fuente de la referencia perdida.</p>

		Si no se encuentra la fuente original de ninguna manera, lo más correcto es borrar dicha información y encontrar otra fuente fiable que podamos citar, de modo que no se mencione trabajo ajeno sin citar adecuadamente.
Organización	Incorrecta identificación de los riesgos en el plan de riesgos.	<p><i>Prevención:</i> Para elaborar este plan de riesgos, se debe pensar a gran escala en todos los casos de riesgo más probables. Debido a la naturaleza de empezar un proyecto con el que se tiene poca experiencia, es posible que surjan nuevos riesgos.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se detecta un riesgo que no forma parte de este documento de prevención, deberá actualizarse de modo que se pueda consultar en el futuro. Si a medida del desarrollo se tienen nuevas ideas sobre posibles riesgos, es recomendable también actualizar el documento.</p> <p>Además de lo anterior, si el riesgo es muy grande y nos encontramos en una etapa del desarrollo muy avanzada, se puede pedir consejo al tutor del trabajo de fin de grado de modo que nos exponga nuevas soluciones a este problema.</p>
Organización	Medidas insuficientes o incompletas contra los riesgos encontrados.	<p><i>Prevención:</i> El objetivo de este apartado es que resulte útil para la persona desarrollando el proyecto, por lo que hay que ponerse en situación de que este documento no es únicamente una formalidad, es una herramienta de ayuda para el desarrollador. Dicho esto, siempre hay que pensar en la peor situación posible e intentar encontrar una solución para minimizar y contener el problema.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si la solución dada a un problema de este documento es insuficiente, pero se tiene una idea clara de lo que podría</p>

		<p>solucionar el problema, sería conveniente echar un vistazo a todo el documento y corregir las medidas de planificación contra los mismos. Si las medidas contra los riesgos son incompletas y no surgen soluciones inmediatas para resolver el problema, deberíamos seguir las soluciones del “plan de contingencia” del riesgo anterior y preguntar a nuestro tutor. También sería conveniente dedicar un tiempo a dividir el problema grande en pequeños problemas menores, e intentar encontrar soluciones a esos pequeños problemas para finalmente intentar solucionar el riesgo mayor.</p>
Personal	<p>Rendimiento inferior al esperado para completar las tareas.</p>	<p><i>Prevención:</i> Prestar siempre atención a cómo de desarrollado se encuentra el proyecto respecto a la planificación para determinar si estamos rindiendo menos de lo que se espera. Por ejemplo, es posible que los días de la semana donde tengo que ir a trabajar descubra que rindo de manera menos óptima.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> En caso de detección temprana de que nuestro rendimiento no es el adecuado, plantear soluciones para recuperar el ritmo (cambiar el horario y lugar de trabajo, realizar una revisión de la planificación, dedicar más tiempo el fin de semana...). Si existe un problema mayor por el cual el ritmo de trabajo es menor (como los riesgos siguientes), consultar con nuestro tutor de trabajo de fin de grado o con un especialista.</p>
Personal	<p>Baja temporal / hospitalización. y Lesiones o dificultades físicas</p>	<p><i>Prevención:</i> Intentar cuidar nuestra salud lo máximo posible y no realizar actividades de alto riesgo.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se trata de una baja o lesión leve donde podemos seguir trabajando, adaptar el ritmo de trabajo a nuestra</p>

	para trabajar correctamente.	nueva situación. Si en este periodo no se puede trabajar, repercutirá muy negativamente a la planificación. En el caso más grave, es posible que el trabajo deba retrasarse a otra convocatoria si todavía no está muy desarrollado. En cualquier caso, debería consultarse al tutor del trabajo de fin de grado para pedir opinión.
Personal	Depresión o desmotivación.	<p><i>Prevención:</i> Cuidar nuestra salud mental, llevar una vida saludable e intentar despejarse del trabajo. No trabajar muchas horas seguidas en el proyecto para evitar la desmotivación (burnout).</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se detectan o nos informan de signos prematuros de que podemos sufrir estrés, depresión o sentimos desmotivación a la hora de trabajar, intentar cambiar los hábitos de vida y de trabajo para intentar trabajar en el proyecto sólo cuando nos sintamos en nuestras mejores condiciones. Si el problema es algo mayor, lo mejor sería consultar con un especialista para encontrar soluciones al problema.</p>
Personal	Incapacidad para comunicarse con el tutor de Trabajo de Fin de Grado para evaluar el progreso.	<p><i>Prevención:</i> Una correcta comunicación con el tutor evitará todos los posibles problemas para reunirnos con el mismo física o virtualmente. También se deberían realizar todas las preguntas importantes al mismo con mucha antelación. Hacer uso del correo y las tutorías virtuales en la medida de lo posible.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> En caso de tener que retrasar una reunión o no poder realizarse, se deberá continuar con el proyecto para no quedarse atrás, a pesar de no tener suficiente supervisión, siempre guardando copias de seguridad en caso de que se deba volver atrás. Si no podemos reunirnos con el tutor en un momento crítico del proyecto, se</p>

		<p>intentará contactar con el mismo de forma presencial y por correo o teléfono. En caso de no poder reunirnos de forma definitiva, se notificará al centro universitario para intentar encontrar una solución.</p>
Tecnología	Corrupción de archivos del proyecto.	<p><i>Prevención:</i> Este riesgo puede ocurrir por múltiples motivos, como por una actualización del sistema, lo cual es difícil de prevenir. Se deben realizar copias de seguridad a menudo para intentar que no nos perjudique en exceso.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> En caso de que esto haya ocurrido y contemos con copias de seguridad, trabajaremos con ellas. Si no las tenemos, intentaremos restaurar nuestro sistema buscando soluciones online. Si la corrupción se ha llevado por delante toda copia de seguridad y estamos en un punto clave del proyecto, intentaremos por todos los medios recuperar los archivos (por ejemplo, llevando el ordenador a un comercio especializado). Si son realmente irrecuperables, se deberá reestructurar el proyecto en el tiempo restante, priorizando las tareas realmente importantes para intentar tener un producto finalizado menos complejo que siga la temática y estructura de este proyecto.</p>
Tecnología	Ruptura de hardware (ordenador portátil, disco duro...) utilizado para desarrollar el trabajo.	<p><i>Prevención:</i> Perder una herramienta de trabajo no se suele poder prevenir, pero sí que se pueden realizar copias de seguridad constantes para intentar trabajar desde otro lugar.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se nos ha roto una herramienta de trabajo reemplazable, tendremos que sustituirla en el menor tiempo posible. En caso de no poder sustituirla, deberemos trabajar desde</p>

		<p>otro equipo para poder continuar el desarrollo, (equipos de la universidad, ordenadores de familiares) aunque no posean las mismas prestaciones, se deberá adaptar el proyecto a estos nuevos equipos. Si se pierde de forma definitiva una pieza de hardware en un punto clave del proyecto puede suponer un grave problema. Intentar traspasar el proyecto a estas alturas a otro equipo puede resultar casi imposible, pero se debe intentar trabajar desde otro equipo para acabar el trabajo en las mejores condiciones posibles aunque no esté tan pulido, tal y como hemos visto en el apartado anterior.</p>
Tecnología	Mal rendimiento del software utilizado en el equipo portátil.	<p><i>Prevención:</i> En el programa de modelado, intentar no sobrecargar la escena de polígonos, partículas o elementos que ralenticen el sistema. Siempre tener espacio de disco disponible para la caché de los programas. No abrir programas innecesarios en segundo plano.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Investigar si el software utilizado tiene opciones para equipos con bajos recursos que permitan trabajar de forma más fluida. Eliminar los programas innecesarios y borrar archivos para ahorrar espacio en disco. Si nos encontramos en la fase final del proyecto y nuestro equipo es insuficiente para realizar las tareas, habrá que reestructurar el proyecto para adecuarlo a nuestras posibilidades o intentar conseguir acceso a un equipo más potente.</p>
Tecnología	Conexión a internet insuficiente en los lugares de trabajo.	<p><i>Prevención:</i> Intentar no trabajar nunca en lugares que no posean conexión a internet. Procurar no depender de internet para la mayoría de tareas.</p>

		<p>Contar siempre con copias de seguridad locales y no únicamente en la nube.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si no tenemos internet en el lugar de trabajo habitual, se puede buscar internet en otras zonas como la universidad y trabajar desde casa en tareas que no requieran de conexión.</p> <p>Si no hay internet en ningún sitio, o nuestro equipo simplemente no puede conectarse a la red, podemos utilizar servicios de conexión a internet (como algunos locales o los equipos que presta la universidad) para conseguir todos los datos importantes y luego trabajar desde casa.</p>
Tecnología	Capacidad de almacenamiento insuficiente para guardar los archivos necesarios para trabajar.	<p><i>Prevención:</i> Hacer hueco en el disco duro para el gran número de archivos que necesitará el proyecto. Contar siempre con dispositivos de almacenamiento USB con espacio suficiente.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si no se posee espacio suficiente, se puede hacer uso de un dispositivo externo USB o almacenamiento en la nube (OneDrive, Google Drive). Si no se posee ni espacio ni almacenamiento externo, se deberán buscar soluciones para comprimir el espacio de estos ficheros. Si son muy pesados pero se pueden volver a generar, habrá que eliminarlos de disco siempre que no sean imprescindibles.</p>
Herramientas	Incompatibilidad de archivos del proyecto entre diferentes ordenadores.	<p><i>Prevención:</i> En primer lugar, se debería evitar tener que usar varios ordenadores. Siempre se debe anotar qué programas (con sus versiones) se están utilizando para poder replicar la instalación en otros equipos de exactamente las mismas herramientas.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se producen problemas de incompatibilidad, intentar reinstalar</p>

		<p>los programas exactamente con las mismas especificaciones que en el primer equipo. Si se producen problemas de compatibilidad solucionables, intentar solucionarlos si esto no supone mucha carga de trabajo. Si otro equipo no permite trabajar con el mismo software, se pueden probar varias soluciones: formatear el equipo, instalar otro sistema operativo, decidir utilizar este equipo sólo para las tareas en las que sea compatible, buscar otro equipo disponible que sí permita trabajar con los mismos archivos...</p>
Herramientas	<p>Conflictos al unir varios ficheros en el software de modelado.</p>	<p><i>Prevención:</i> Intentar trabajar siempre con la misma versión del programa y no añadir elementos a la escena innecesarios. Documentar siempre los pasos realizaos.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> En caso de haber incompatibilidades, intentar importar los archivos en otro formato o buscar en Internet métodos mediante los cuales otros usuarios lo han hecho. Es posible que algunos elementos deban volver a crearse si no se consigue compatibilizar todos los archivos.</p>
Herramientas	<p>Problemas al intentar hacer rigging de un modelo creado en el software de modelado.</p>	<p><i>Prevención:</i> Informarse bien previamente a la implementación del Rigging sobre cómo son los pasos a seguir para realizarlo correctamente.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se encuentran fallos, se puede intentar retocar la geometría del modelo para tratar de estabilizar el mismo sin tener que volver a empezar. En el peor de los casos, habrá que sencillamente volver a empezar con el Rigging desde el principio. Hay veces que intentar solucionar problemas con la geometría sin destruir</p>

		el rigging puede consumir más tiempo que volver a empezar.
Herramientas	Problemas para incorporar datos de captura de movimiento.	<p><i>Prevención:</i> Buscar información previamente sobre cómo pasar datos de captura de movimiento al software 3D. Asegurarse de que los datos de captura de movimiento están en el formato adecuado y estudiar las alternativas.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si hay cierta incompatibilidad en el movimiento, se debe intentar ajustar haciendo uso del sistema de rigging creado. Si importar los datos de captura de movimiento produce resultados extraños o directamente no son compatibles, habrá que probar con otros formatos y revisar bien la información disponible online acerca del problema. Como medida de urgencia, si el proyecto corre el peligro de retrasarse, se añadirá al apartado de mejoras futuras.</p>
Herramientas	El rigging no permite crear los resultados esperados.	<p><i>Prevención:</i> Informarse bien antes de realizar un rigging. Comprobar a cada pequeño paso de la implementación que el modelo está moviéndose como se espera.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si el rigging es incorrecto por una mala distribución de deformación de malla (Skinning) y aún está a tiempo de ser editado, se puede intentar arreglar cualquier problema retocando este apartado antes de continuar con el proyecto. Si el problema es muy grave y es un problema relacionado con la geometría desarrollada en la primera fase (modelado), entonces es posible que debamos rehacer el proceso de rigging desde cero después de editar correctamente la geometría.</p>

Estimación	Sobreestimación del tiempo que se dispone para desarrollar el proyecto.	<p><i>Prevención:</i> Para prevenir esto, se realiza una planificación inicial en la cual se detalla un plan por fases (iteraciones) de las tareas que se deban desarrollar en cada fase (diseño, modelado, texturizado...). Si a las pocas semanas de empezar se detecta un problema para seguir con el sistema planificado, se pueden consultar los siguientes apartados.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si aún estamos en el inicio del proyecto, se debe volver a estudiar y redistribuir las tareas restantes del proyecto de forma que podamos completar los objetivos del proyecto en el tiempo disponible. Si queda poco para acabar el proyecto y hay problemas para seguir la planificación, se debe priorizar lo importante para conseguir tener una versión finalizada del proyecto, aunque no fuese la inicialmente visionada. Si hay algunas funcionalidades que no forman parte del objetivo primordial y actúan más bien como complementarias, descartarlas hasta haber conseguido tener implementadas las funcionalidades más importantes.</p>
Estimación	Infraestimación del tiempo que se dispone para desarrollar el proyecto.	<p><i>Prevención:</i> Para prevenir esto, se realiza una planificación inicial en la cual se detalla un plan por fases (iteraciones) de las tareas que se deban desarrollar en cada fase (diseño, modelado, texturizado...). Si a las pocas semanas de empezar se detecta un problema para seguir con el sistema planificado, se pueden consultar los siguientes apartados.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Se pueden añadir tareas nuevas o expandir las planeadas para dejar un mejor resultado. Si hay funcionalidades</p>

		complementarias que se desean implementar, se puede considerar implementarlas cuando las primordiales estén completamente realizadas. Si el problema deriva en que el producto no es lo mejor que podría ser por falta de desarrollo (se ha dedicado demasiado poco tiempo a las tareas), se debería hacer todo lo posible para expandir o mejorar todo lo relativo al proyecto que esté menos pulido.
Estimación	Sobreestimación de tiempo para desarrollar una fase del proyecto.	<p><i>Prevención:</i> Monitorizar el desarrollo del proyecto, prestando atención a que todas las tareas están siendo completadas en un tiempo razonable respetando las iteraciones (fases).</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Ampliar el tiempo de trabajo completando tareas que pueden ayudar si están completadas antes de tiempo (si realizar una tarea antes que otra puede ayudar de algún modo a completar otra tarea en menos tiempo, se debe priorizar la primera tarea). Recalcular el resto de las iteraciones para que la cantidad de trabajo sea correcta, valorando razonadamente qué tareas son las verdaderamente importantes y deben ser realizadas antes.</p>
Estimación	Infraestimación de tiempo para desarrollar una fase del proyecto.	<p><i>Prevención:</i> Monitorizar el desarrollo del proyecto, prestando atención a que todas las tareas están siendo completadas en un tiempo razonable respetando las iteraciones (fases).</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si en un caso aislado, se intentará completar en otra iteración y seguir con el ritmo normal de trabajo. Si este suceso es constante, se deberá volver a planificar el resto de iteraciones, asegurándose de que hay tiempo</p>

		adecuado para todas las tareas basándose en las pasadas experiencias.
Estimación	No hay tiempo suficiente para crear todas las texturas.	<p><i>Prevención:</i> Planificar con antelación el tipo de texturizado que se realizará para el proyecto. Valorar el uso de los diferentes softwares de texturizado disponibles.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si no se pueden crear a mano algunas texturas, consultar sitios web dedicados al uso de texturas de uso libre (o webs de materiales libres para programas como Substance Painter). En caso de no tener mucho tiempo, se pueden utilizar tanto texturas libres como simplemente materiales para algunas zonas del escenario. Si es posible reutilizar texturas y esto ayuda a ahorrar tiempo, es otra posible opción a realizar.</p>
Estimación	No hay tiempo suficiente para crear al segundo personaje.	<p><i>Prevención:</i> Con un plan de tiempo adecuado y desarrollando los personajes en el tiempo establecido, no debería ser necesario tener que prevenir este suceso. El segundo personaje debería desarrollarse en menos tiempo debido a que ya se ha realizado el proceso una vez, pero siempre se debe contar con tiempo de sobra.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si el tiempo es realmente limitado, se puede procurar modelar al personaje que más tiempo va a requerir en primer lugar, y sólo empezar con el segundo si realmente se cuenta con el tiempo necesario para desarrollarlo. En caso de que tengamos tiempo pero no todo el necesario, se puede desarrollar el segundo personaje de forma más simple.</p> <p>En caso de que realmente no haya tiempo para hacer un personaje secundario, se puede optar o</p>

		<p>bien por descartar a este personaje si el objetivo del trabajo puede cumplirse únicamente con uno. Si no, se debe valorar el tiempo restante que hay disponible para el proyecto e intentar desarrollar el segundo personaje lo máximo posible.</p>
Estimación	<p>No hay tiempo suficiente para realizar un rigging completo.</p>	<p><i>Prevención:</i> Lo más importante es consultar los mecanismos y técnicas necesarias para implementar el rigging en un modelo. Lo que se también se debe valorar es si se quiere implementar todas las formas diferentes de controlar a un personaje (implementar todas las cinemáticas, etc...)</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si el tiempo es ajustado para completar esta tarea, se puede implementar el rigging sin incluir todas las funcionalidades (todas las cinemáticas, etc...) y tener una versión simple pero funcional del sistema de controladores.</p> <p>Si el proyecto no va bien de tiempo, se debe considerar realizar una versión simple del rigging. Se pueden consultar los diferentes mecanismos de generación automática de rigging en el software 3D (aunque suelen presentar muchos errores) o se puede optar por realizar una versión muy simple del rigging de personajes, sin apenas prestaciones para controlar al personaje.</p>
Estimación	<p>El trabajo no está listo para la fecha planificada.</p>	<p><i>Prevención:</i> Si se sigue correctamente la planificación y resulta ser acertada, no debería haber nada que impida presentar el trabajo a tiempo. No obstante, para poder estar seguros de que vamos bien, podemos redactar pequeños informes que ayuden a saber si estamos cumpliendo lo que se espera según la planificación.</p>

		<p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si aún queda tiempo, se puede valorar reducir la carga de trabajo para intentar completar el proyecto en una menor carga de tiempo. En el peor de los casos, y si hay más convocatorias disponibles y se desea presentar el trabajo en las mejores condiciones, es posible que deba considerarse el retrasar el trabajo a otra convocatoria.</p>
Otros	El resultado final del proyecto no está siendo el esperado.	<p><i>Prevención:</i> Es difícil prevenir este tipo de riesgos porque suelen verse con claridad una vez el proyecto ha avanzado bastante. En cualquier caso, si el proyecto no luce de la forma esperada, se debe documentar correctamente en la memoria.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si se puede modificar el proyecto para mejorar estos apartados donde no se está consiguiendo el resultado esperado y todavía se está a tiempo, se deberá realizar una mejoría en estos aspectos antes de dar por finalizado el proyecto. Si no es posible realizar las mejoras con simples modificaciones, es posible que en un caso extremo no sea una locura volver a rehacer por completo una fase del proyecto, si esto ayuda a que el resultado final mejore considerablemente. Si no es posible realizar mejoras, se deberá justificar en el proyecto qué es lo que no resulta convincente y cómo podría solucionarse.</p>
Otros	Terremoto u otras catástrofes naturales.	<p><i>Prevención:</i> No se suelen poder prevenir este tipo de accidentes. Simplemente hay que ser todo lo prudente que se pueda y estar atento a los informes meteorológicos.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> En caso de que este accidente nos perjudique de forma leve, consultar la</p>

		Minimización/P.Contingencia del riesgo “Baja temporal / hospitalización”.
Otros	Accidente automovilístico.	<p><i>Prevención:</i> No se suelen poder prevenir este tipo de accidentes. Simplemente hay que ser todo lo prudente que se pueda a la hora de conducir un vehículo.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> En caso de que este accidente nos perjudique de forma leve, consultar la Minimización/P.Contingencia del riesgo “Baja temporal / hospitalización”.</p>
Otros	Cancelación de la convocatoria de entrega de trabajos.	<p><i>Prevención:</i> Informarse bien de todo lo relativo a la entrega de trabajos de fin de grado, consultar las redes sociales y las páginas oficiales de la universidad.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si la fecha ha sido retrasada, se adecuará el plan de trabajo para adecuarse al cambio de fecha. En caso de ser un problema grave y la cancelación sea permanente, consultar con la universidad directamente las opciones que se pueden tomar.</p>
Otros	Cambio de horario o eliminación del transporte público para acceder a la universidad.	<p><i>Prevención:</i> Prestar atención a las últimas noticias de la compañía de transportes utilizada para comunicarse con la universidad. Hacer uso de videoconferencias o asistencia virtual en la medida de lo posible.</p> <p><i>Minimización/P.Contingencia:</i> Si dicho horario no afecta a nuestra rutina de trabajo, no habrá más que ajustarse ligeramente. En caso de eliminación, buscar un medio de transporte alternativo que nos permita llegar a la universidad. Si esto presenta un problema, habrá que buscar otro medio de transporte para acceder a la universidad o asistir a esta sólo cuando sea absolutamente necesario.</p>

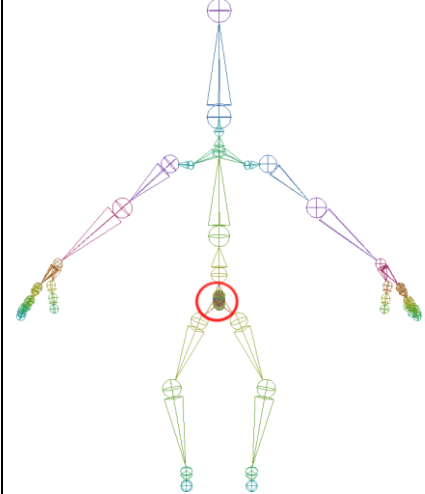
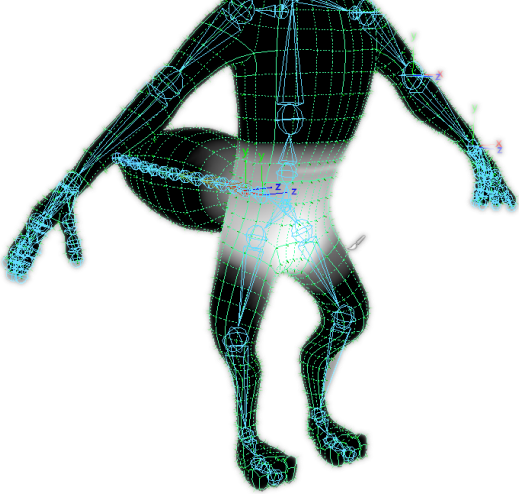
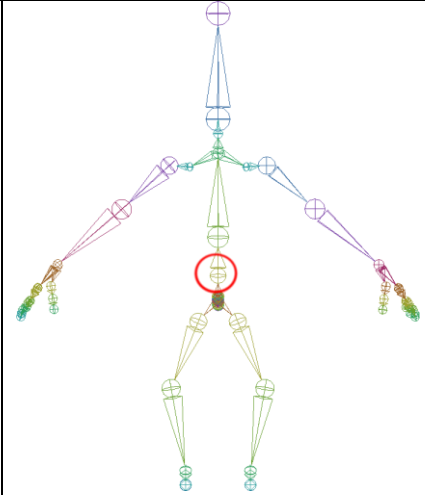
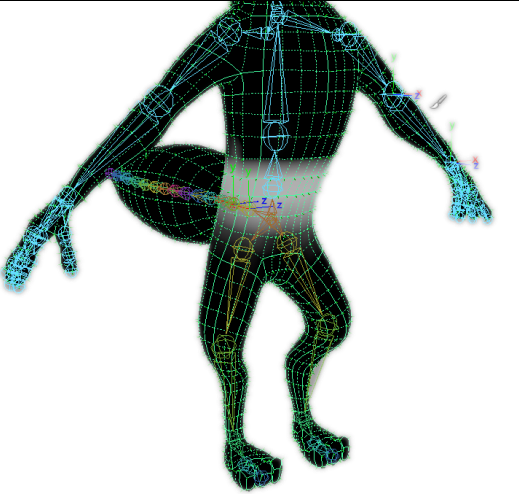
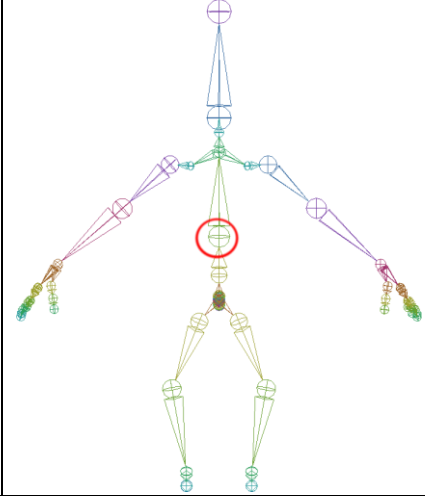
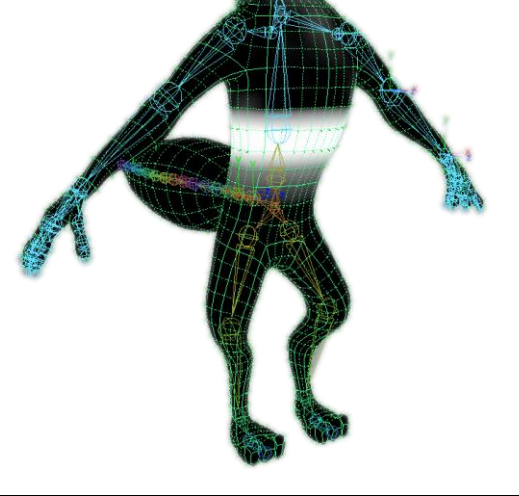
Apéndice V – Tabla de monitorización de riesgos

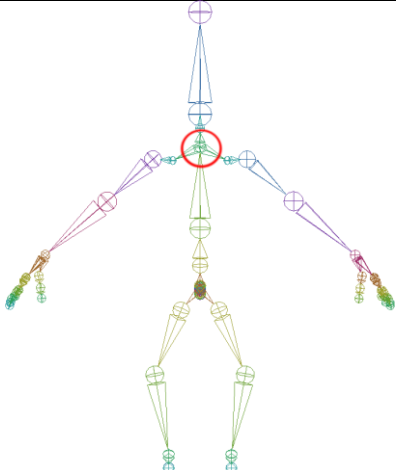
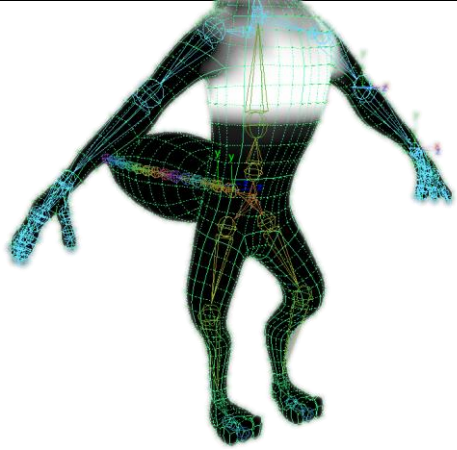
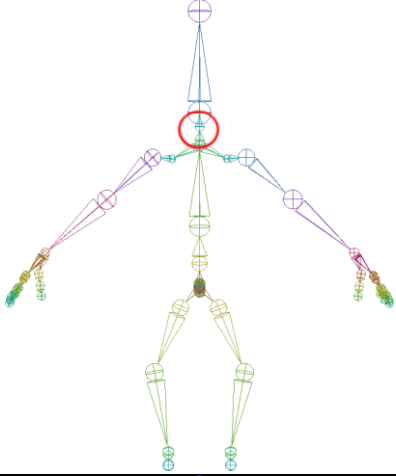
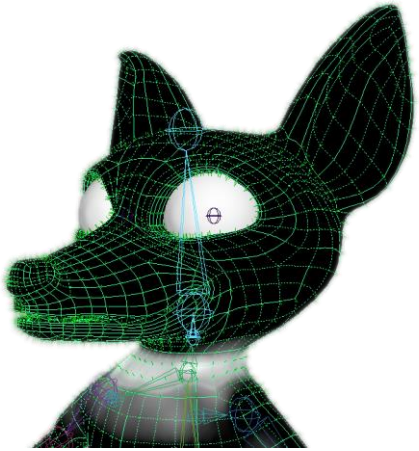
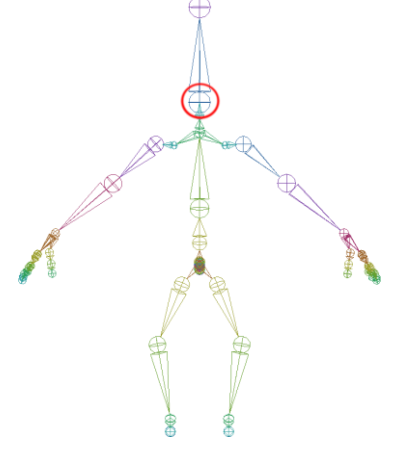
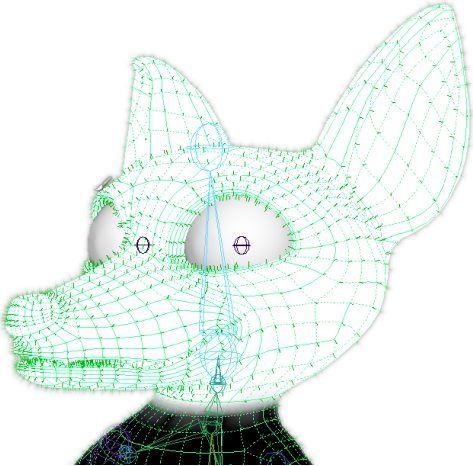
Tabla 5. Monitorización de riesgos

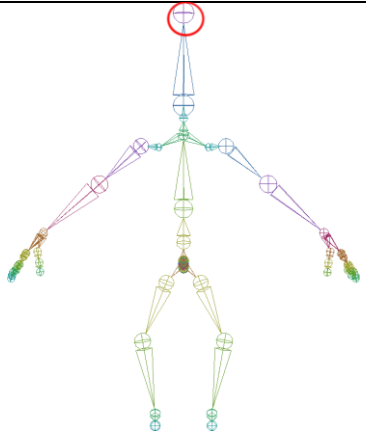
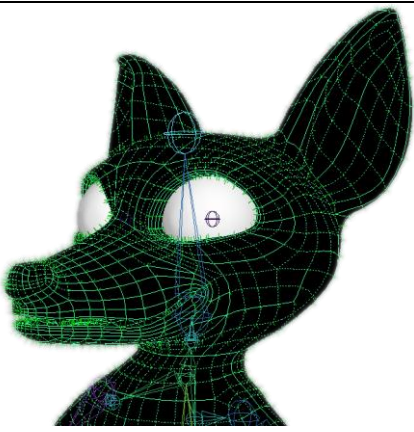
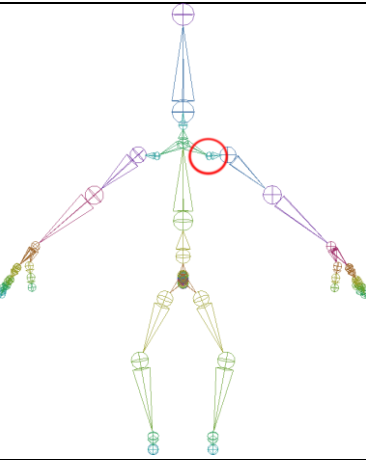
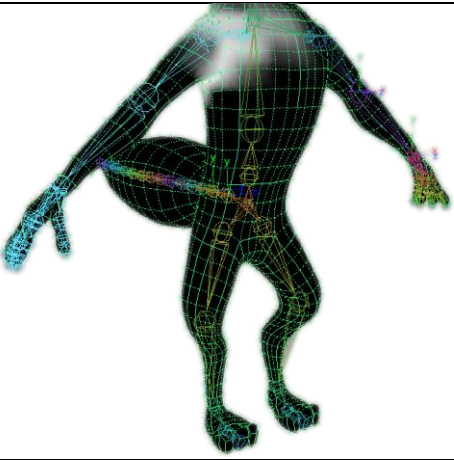
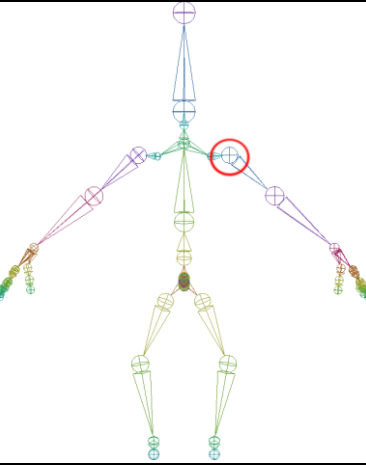
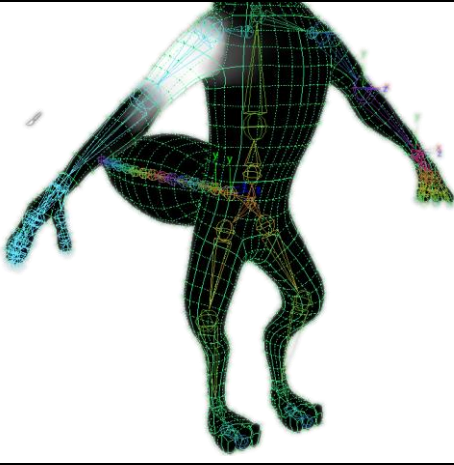
TIPO DE RIESGO	IDENTIFICADORES POTENCIALES
TECNOLOGÍA	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo más lento para completar tareas del esperado. • El ordenador se ralentiza con frecuencia. • La conexión a internet es lenta o falla. • El ordenador nos avisa de que queda poca memoria.
PERSONAS	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo estado de ánimo y desmotivación. • Dificultad para mantener la concentración. • Dificultad para realizar tareas que usualmente se realizan sin problema. • Mostrar síntomas de alergia o enfermedad.
ORGANIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Retraso en las iteraciones marcadas para el desarrollo. • Redactar en la memoria mucha información sin dejar claras las fuentes. • Ocurrencia de riesgos o problemas no planteados en este documento. • Las soluciones planteadas no solucionan o minimizan los riesgos.
HERRAMIENTAS	<ul style="list-style-type: none"> • Conflictos entre diferentes ordenadores en archivos que funcionan bajo el mismo Software. • Constantes cierres abruptos de los programas utilizados. • Utilización de funcionalidades no documentadas o en desarrollo. • Archivos corruptos o archivos con modificaciones extrañas.
ESTIMACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Retrasos en las fechas de iteraciones recomendadas. • Realización demasiado rápida de tareas planificadas para un largo período de tiempo. • Los modelos tardan un tiempo excesivo en ser desarrollados.
OTROS	<ul style="list-style-type: none"> • El feedback recibido de otras personas no es positivo. • Avisos de catástrofes naturales o mal tiempo climatológico. • Paradas técnicas en servicios administrativos de la universidad.

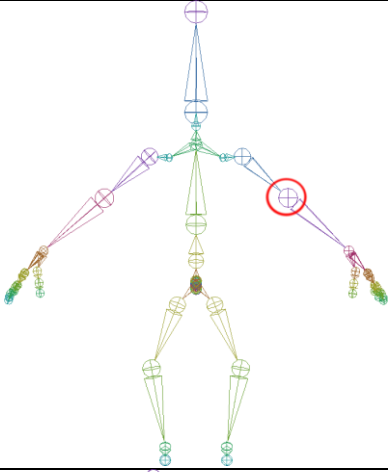
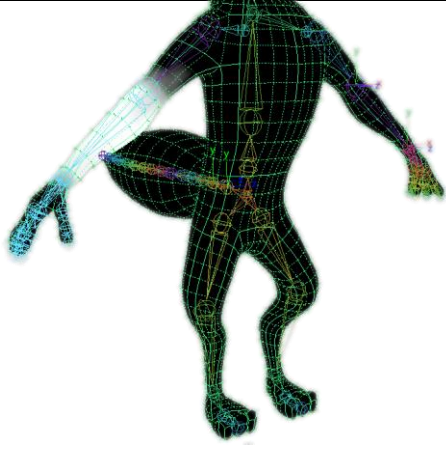
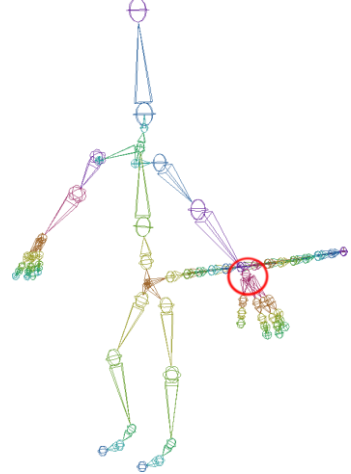
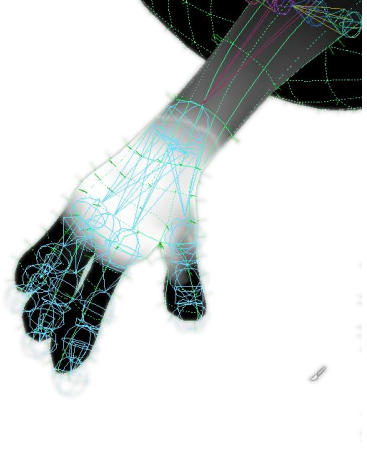
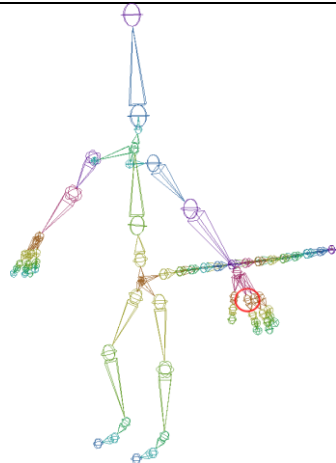
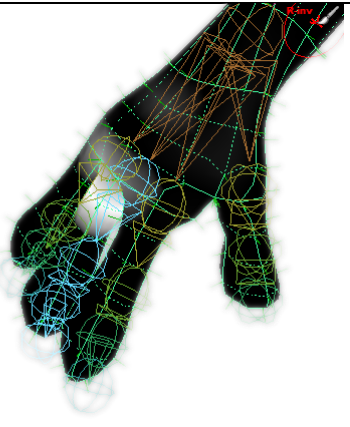
Apéndice VI – Tabla de Skin Weights del zorro (Rapus)

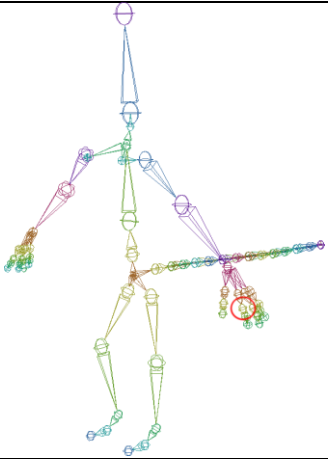
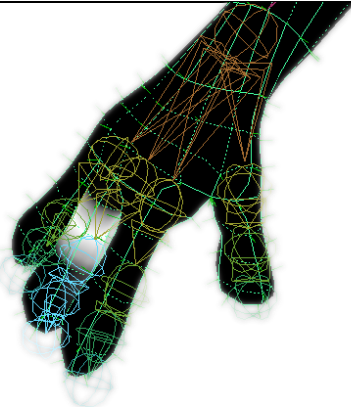
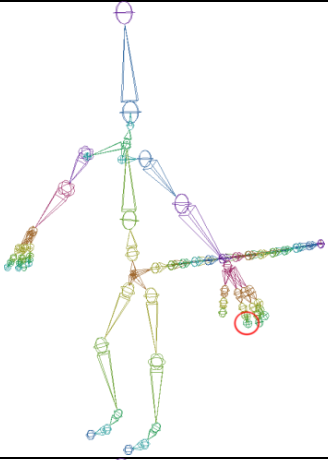
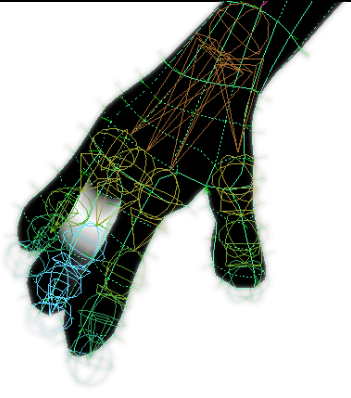
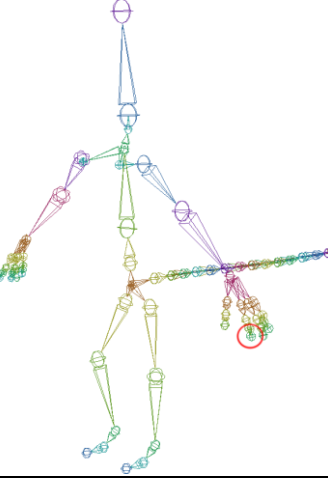
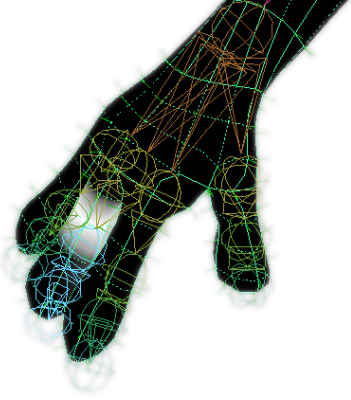
Tabla 6. Skin Weights de Rapus

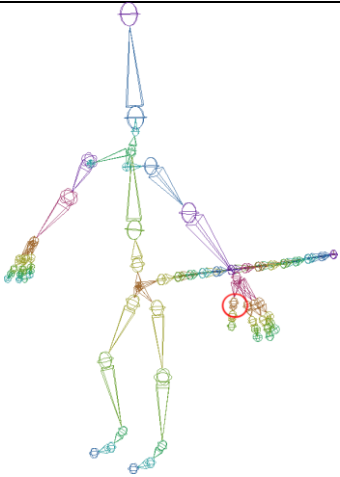
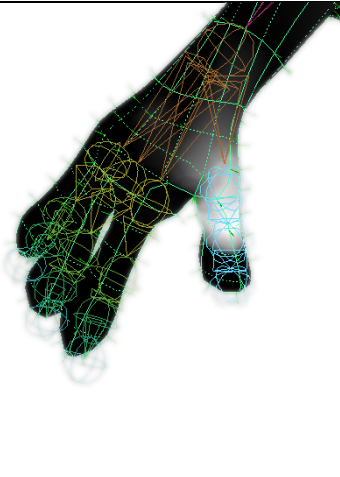
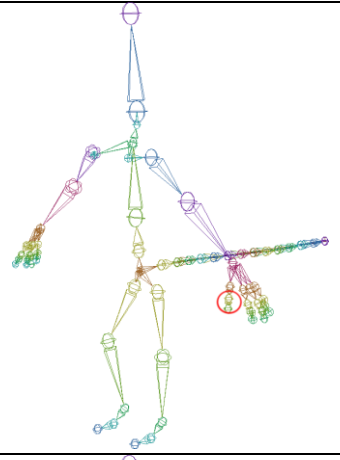
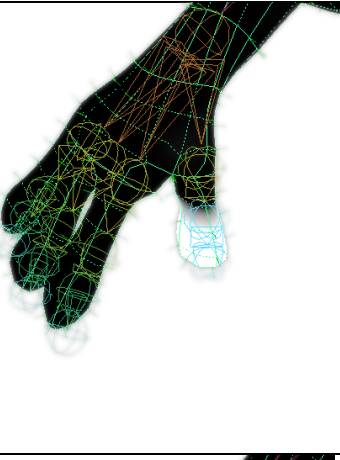
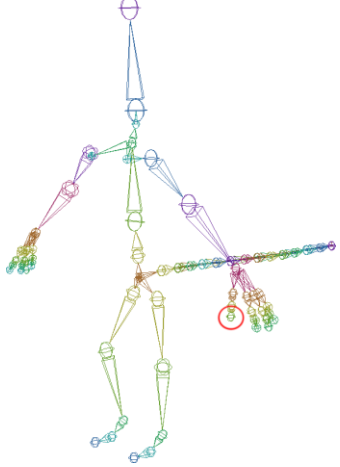
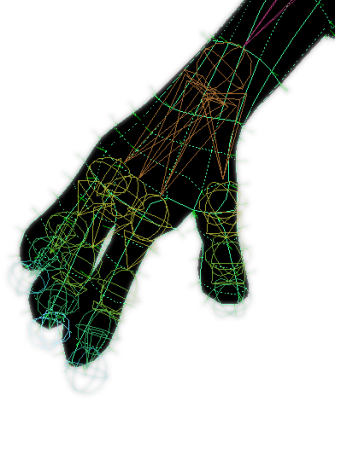
	Joint	Área de influencia en la geometría
Hip		
Spine1		
Spine2		

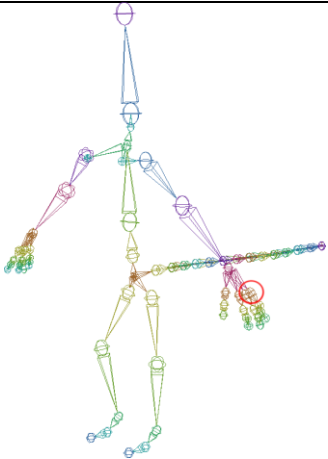
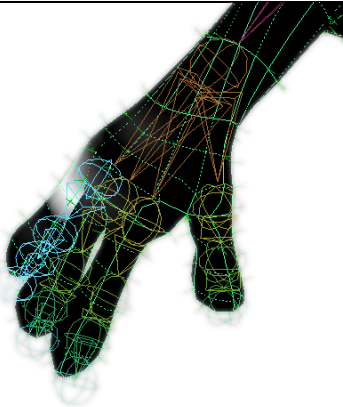
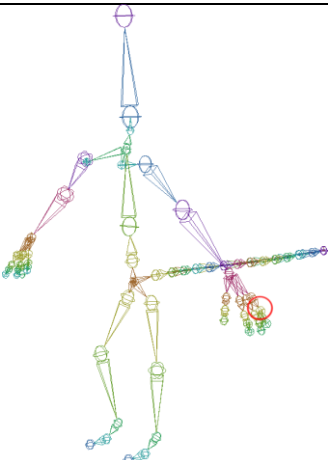
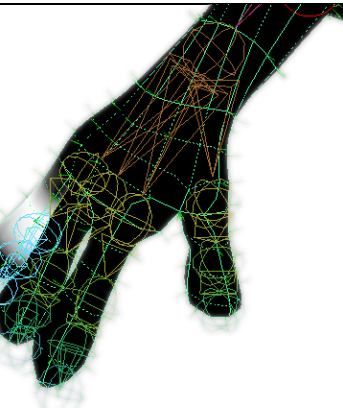
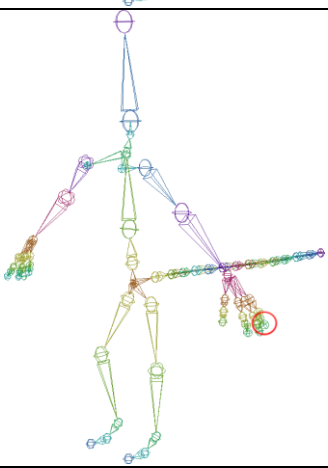
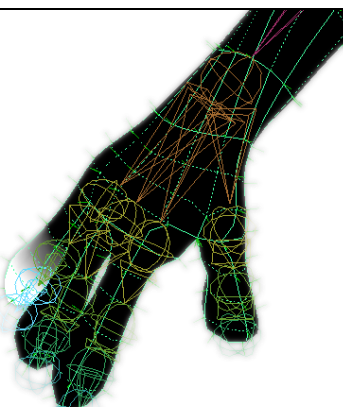
Spine3		
Neck		
Head		

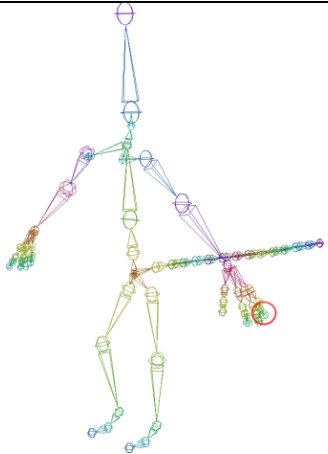

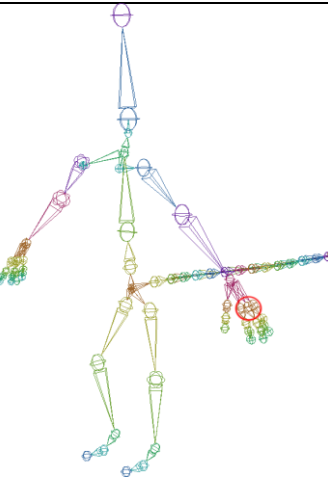
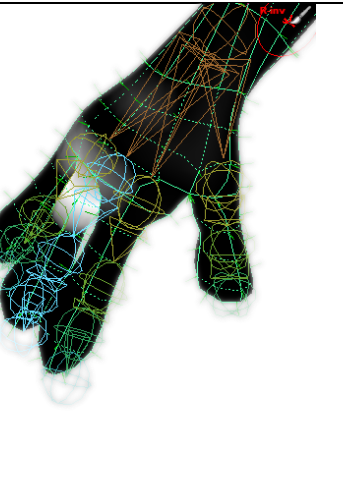
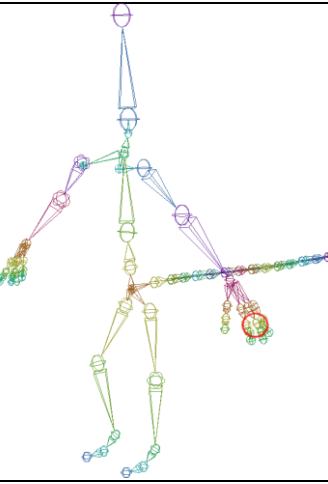
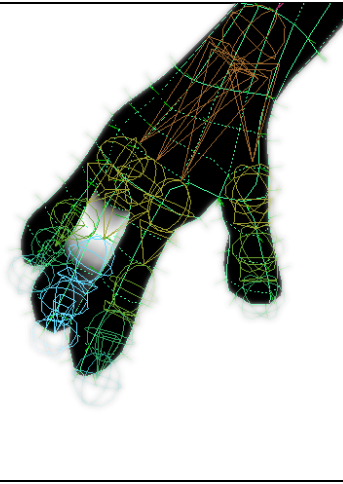
<p>HeadTip**</p>		
<p>R_Clavicle*</p>		
<p>R_Shoulder*</p>		

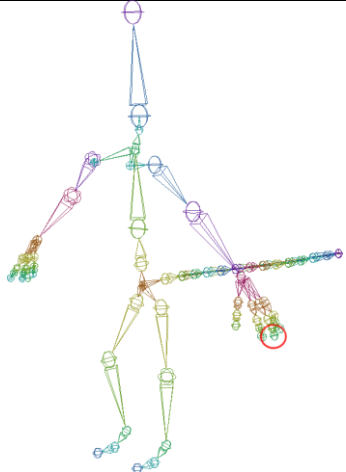
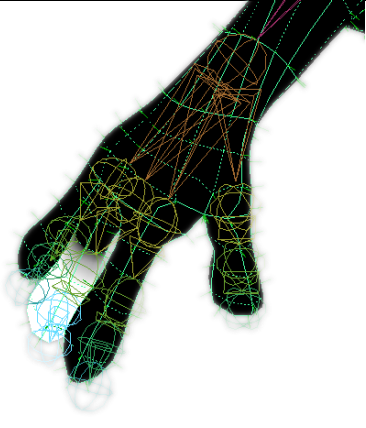
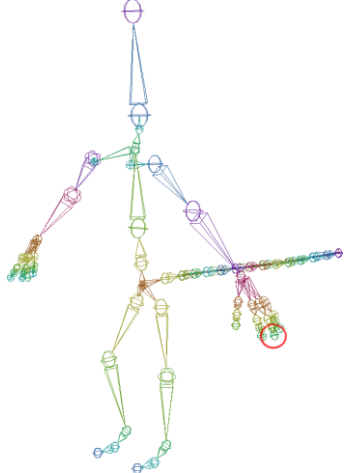

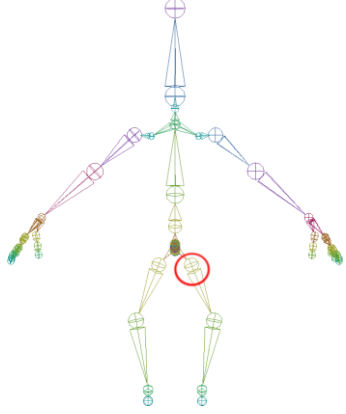
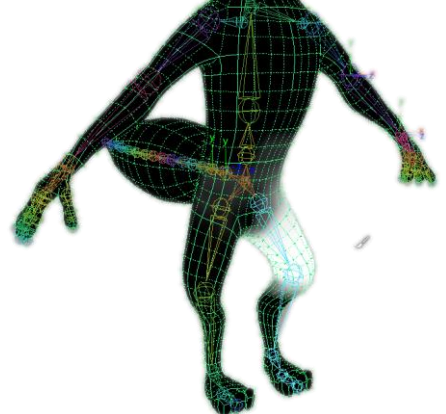
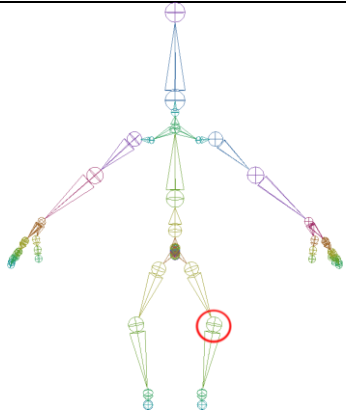
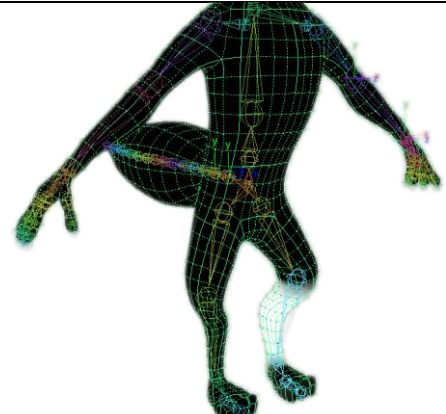
R_Elbow*		
R_Wrist*		
R_Index1*		

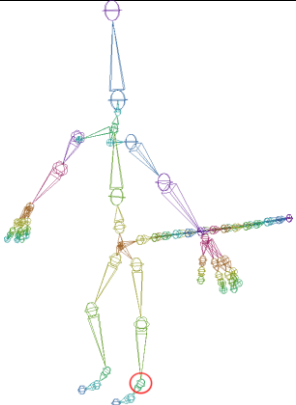
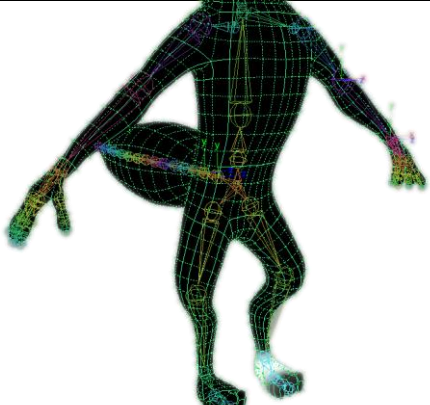
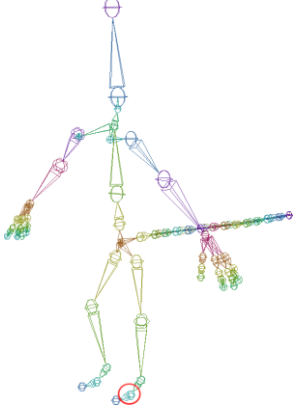
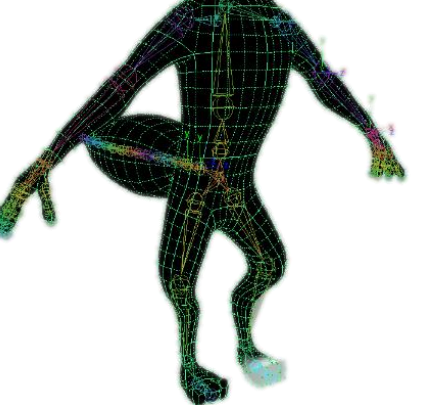
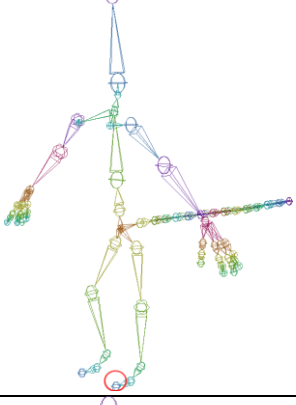
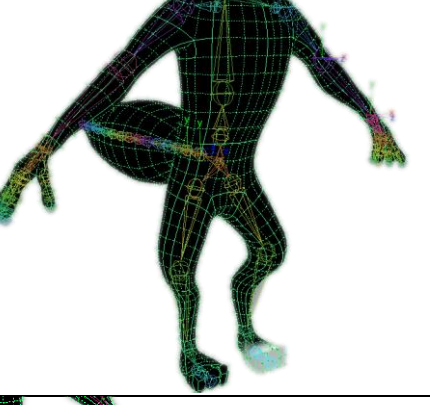
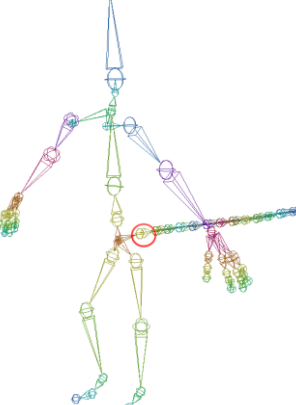
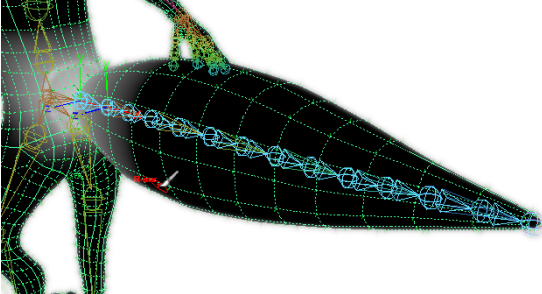
R_Index2*		
R_Index3*		
R_Index4**		

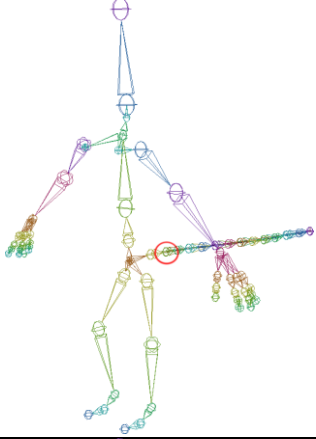
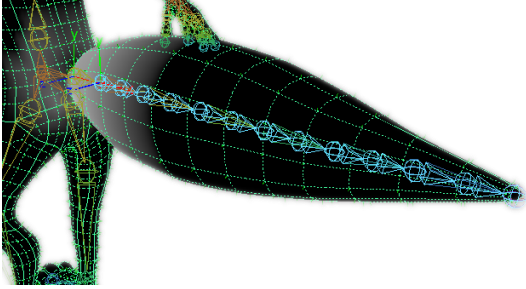
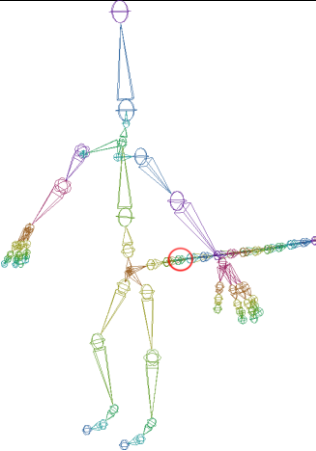
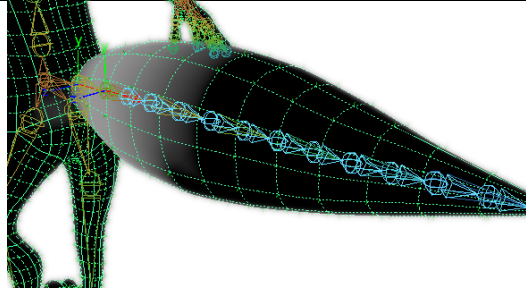
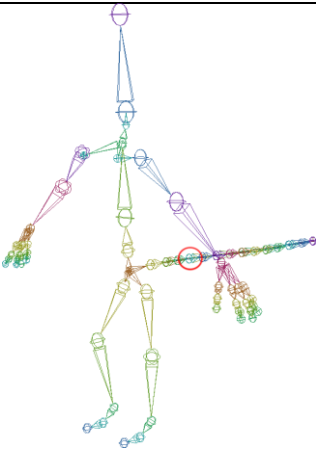
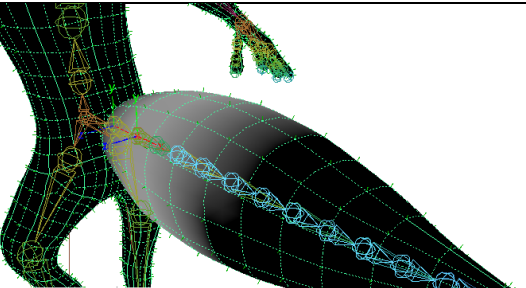
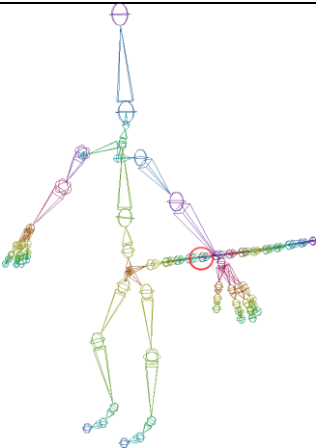
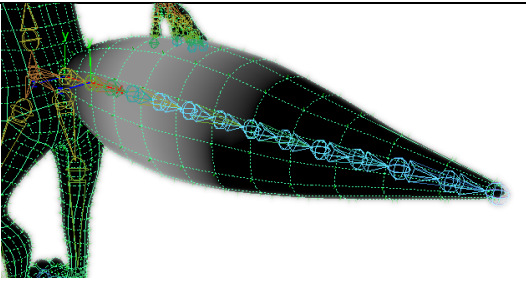
R_Thumb1*		
R_Thumb2*		
R_Thumb3**		

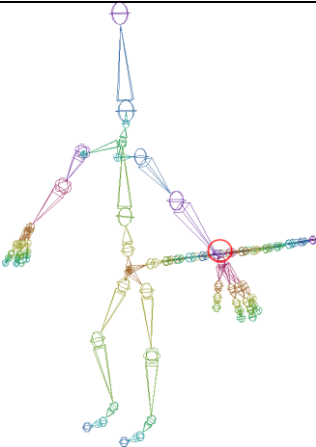
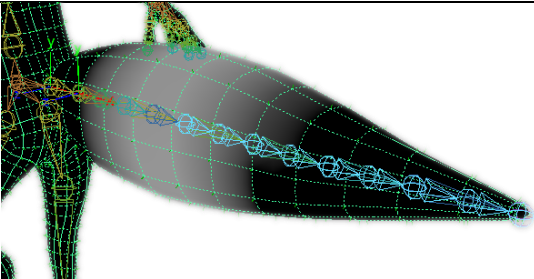
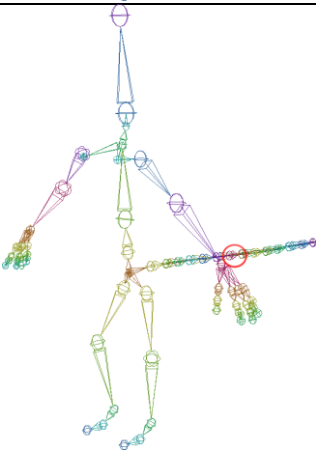
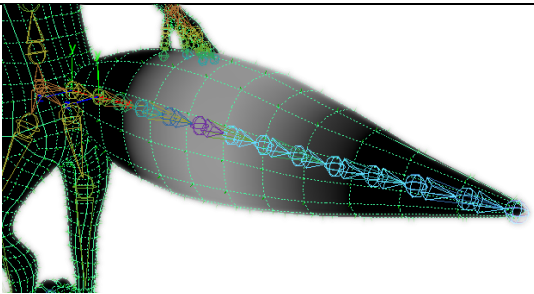
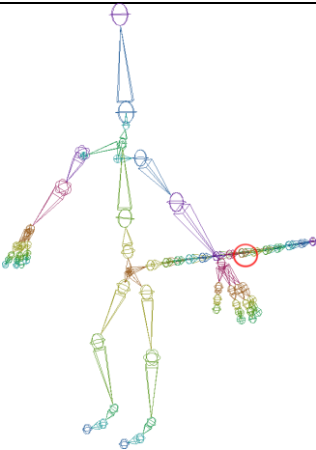
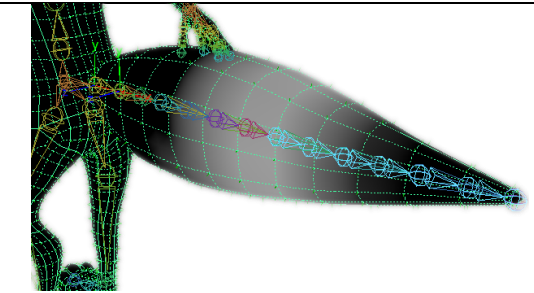
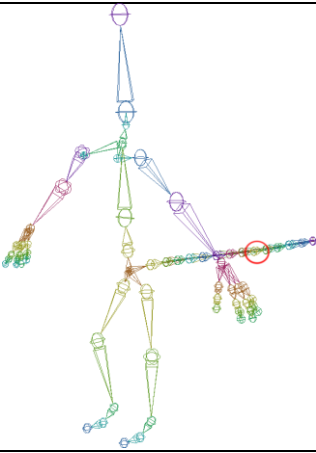
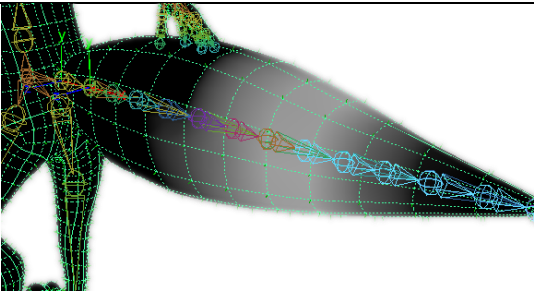
R_Lit1*		
R_Lit2*		
R_Lit3*		

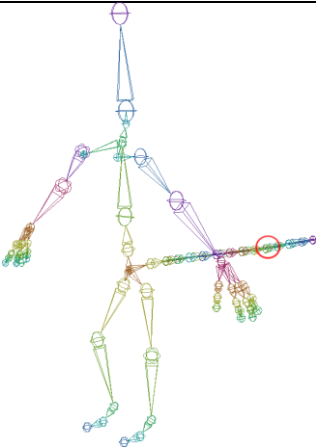
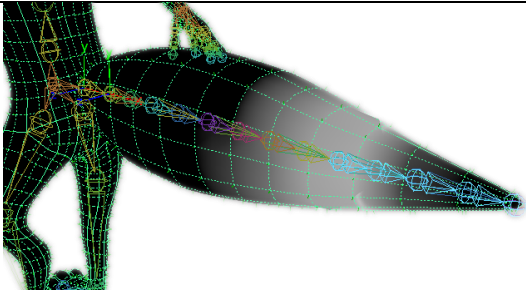
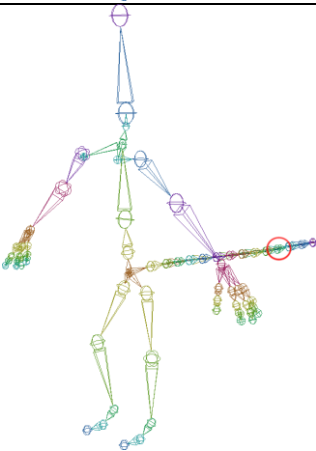
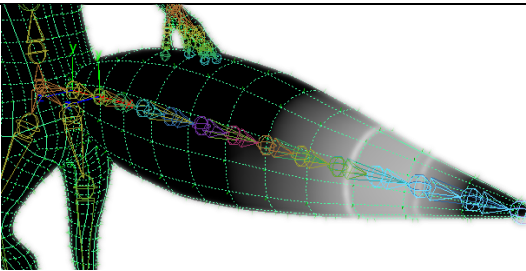
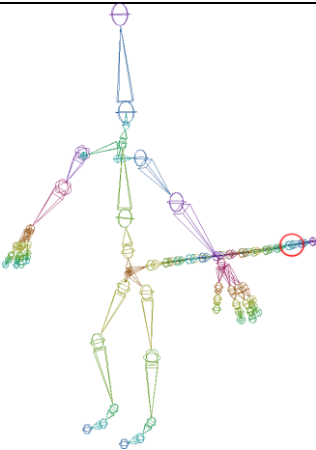
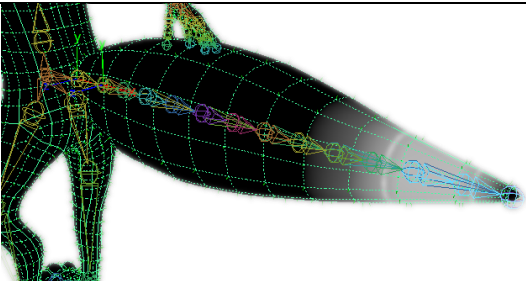
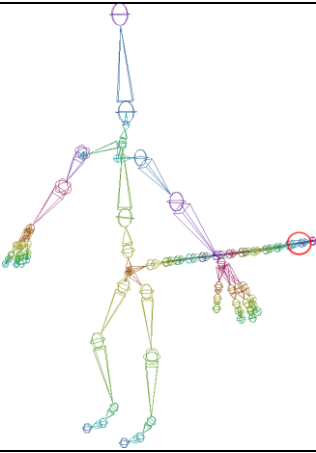
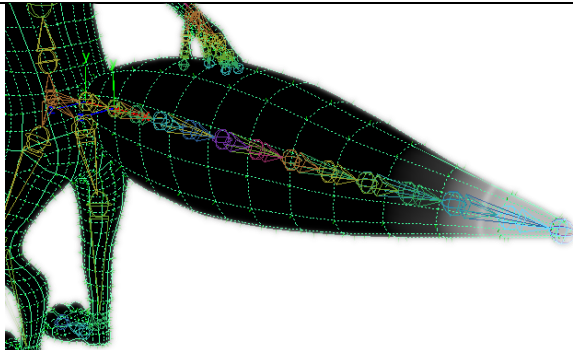
R_Lit4**		
R_Ring1*		
R_Ring2*		

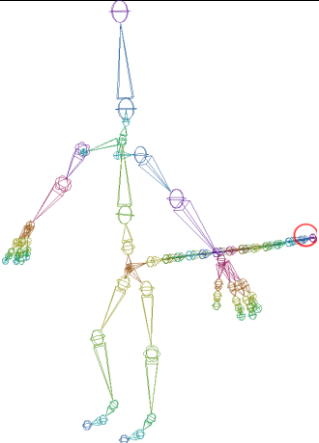
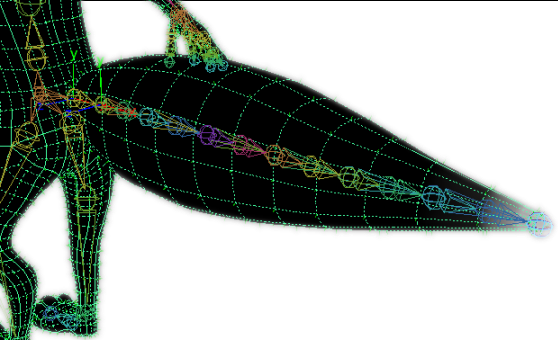
R_Ring3*		
R_Ring4**		
R_LegTop*		
R_Knee*		

R_Foot*		
R_Toe*		
R_ToeTip**		
Tail01		

Tail02		
Tail03		
Tail04		
Tail05		

Tail06	 A skeletal rig for a tail, showing a hierarchy of bones. The root bone is a purple circle at the top. It branches into two main paths: one leading to a series of blue and green bones forming the upper part of the tail, and another leading to a series of yellow and green bones forming the lower part. A red circle highlights a joint in the middle of the rig.	 A 3D render of the tail model for Tail06. The tail is dark grey with a green wireframe overlay. The bones are visible as a series of blue and green spheres connected by lines, matching the rig in the adjacent panel.
Tail07	 A skeletal rig for a tail, showing a hierarchy of bones. The root bone is a purple circle at the top. It branches into two main paths: one leading to a series of blue and green bones forming the upper part of the tail, and another leading to a series of yellow and green bones forming the lower part. A red circle highlights a joint in the middle of the rig.	 A 3D render of the tail model for Tail07. The tail is dark grey with a green wireframe overlay. The bones are visible as a series of blue and green spheres connected by lines, matching the rig in the adjacent panel.
Tail08	 A skeletal rig for a tail, showing a hierarchy of bones. The root bone is a purple circle at the top. It branches into two main paths: one leading to a series of blue and green bones forming the upper part of the tail, and another leading to a series of yellow and green bones forming the lower part. A red circle highlights a joint in the middle of the rig.	 A 3D render of the tail model for Tail08. The tail is dark grey with a green wireframe overlay. The bones are visible as a series of blue and green spheres connected by lines, matching the rig in the adjacent panel.
Tail09	 A skeletal rig for a tail, showing a hierarchy of bones. The root bone is a purple circle at the top. It branches into two main paths: one leading to a series of blue and green bones forming the upper part of the tail, and another leading to a series of yellow and green bones forming the lower part. A red circle highlights a joint in the middle of the rig.	 A 3D render of the tail model for Tail09. The tail is dark grey with a green wireframe overlay. The bones are visible as a series of blue and green spheres connected by lines, matching the rig in the adjacent panel.

Tail10		
Tail11		
Tail12		
Tail13		

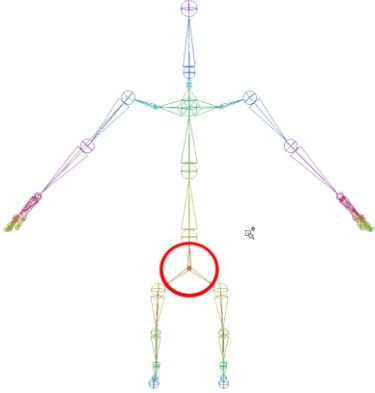
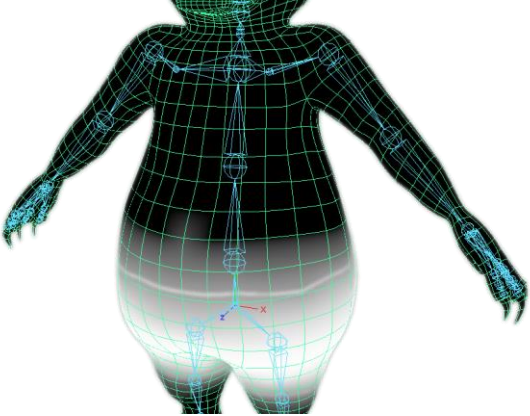
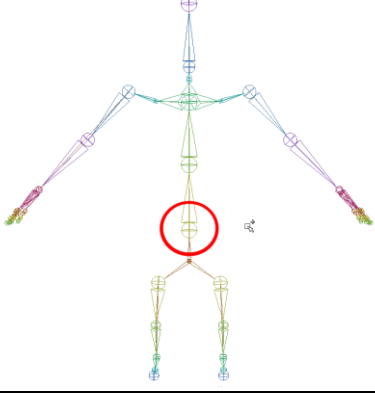
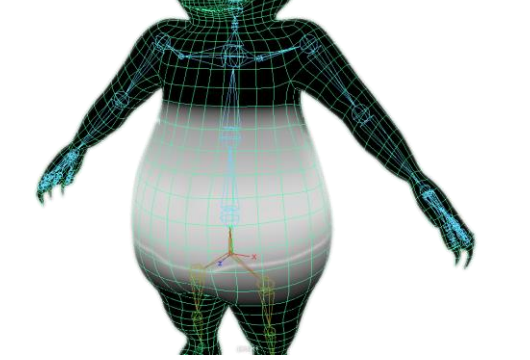
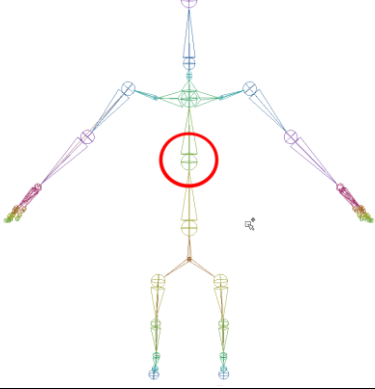
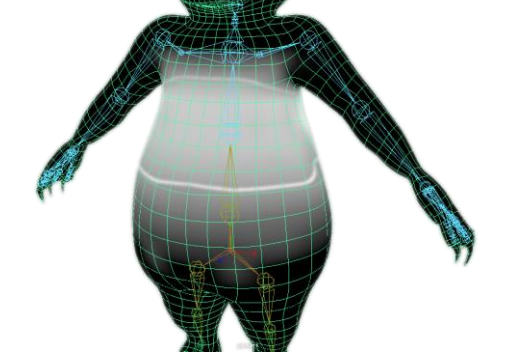
TailTip		
---------	---	--

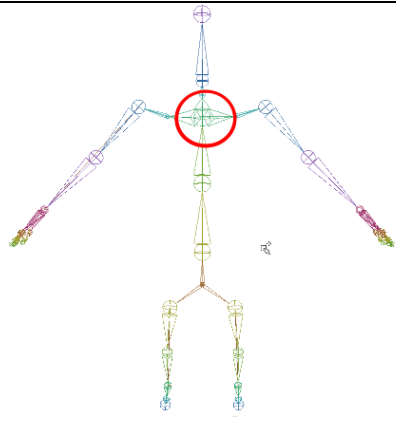
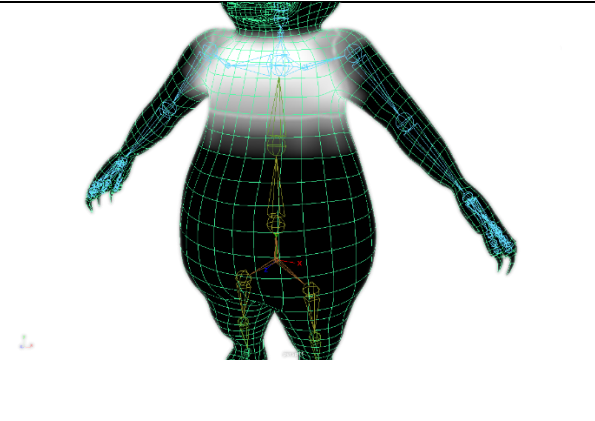
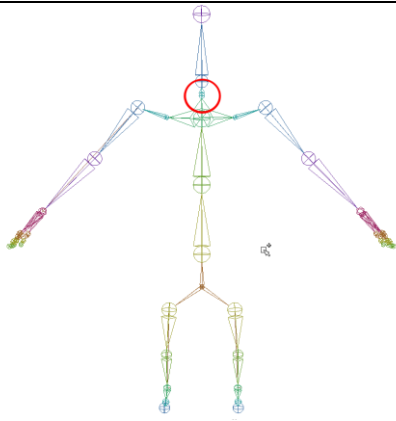
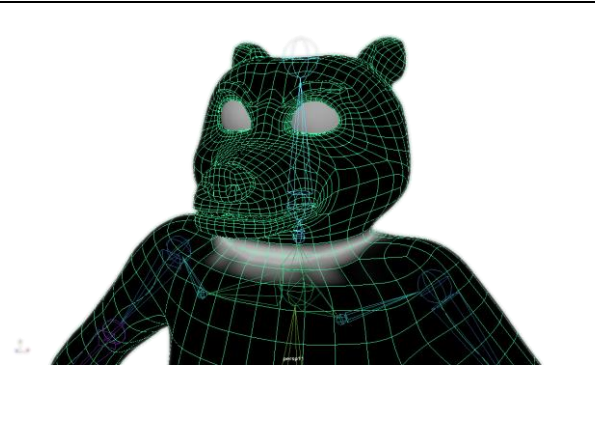
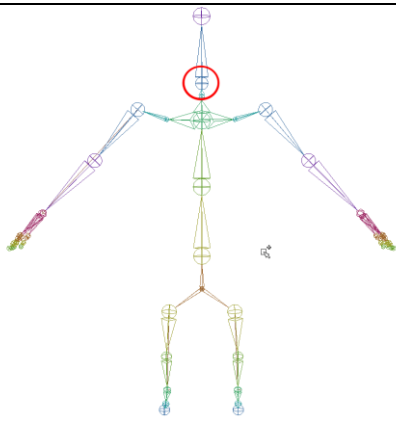
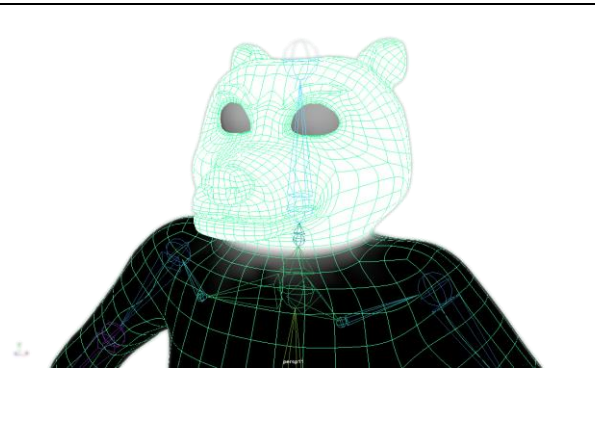
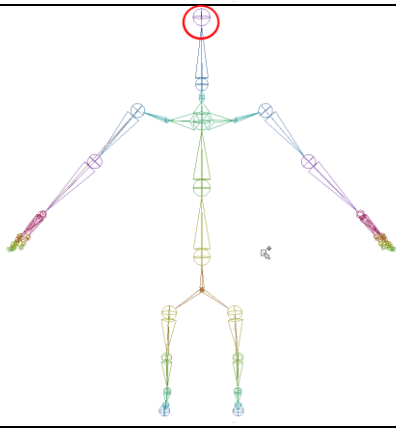
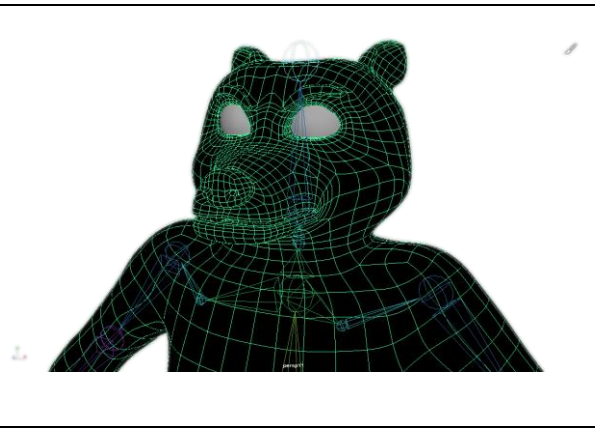
** El joint del lado contrario del cuerpo tiene la misma influencia, pero en el otro lado. Por ejemplo, sólo está en la tabla la influencia del joint del hombro derecho (R_Shoulder) porque la del lado izquierdo (L_Shoulder) es igual pero en la geometría del lado contrario.*

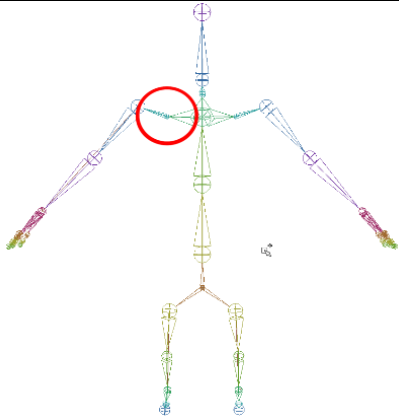
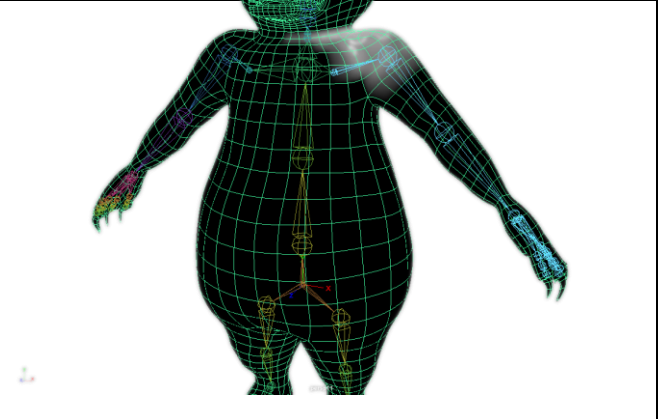
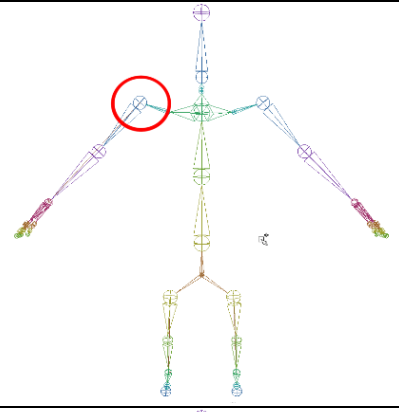
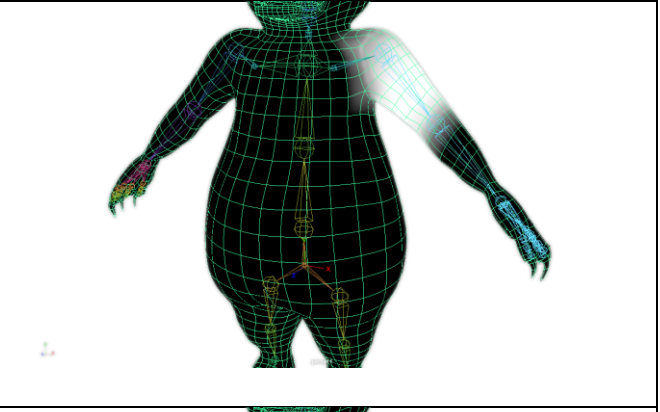
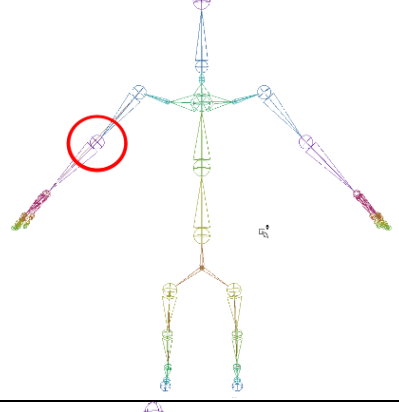
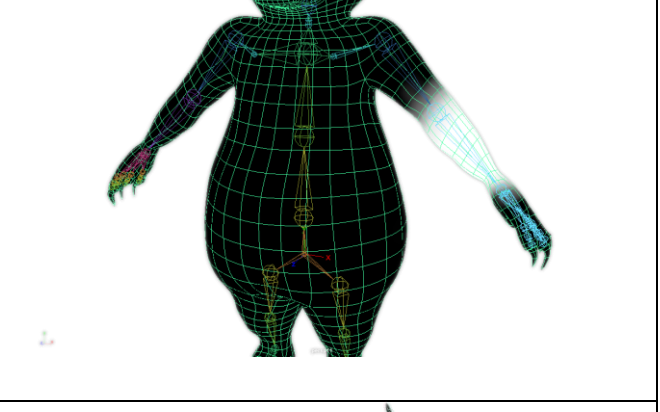
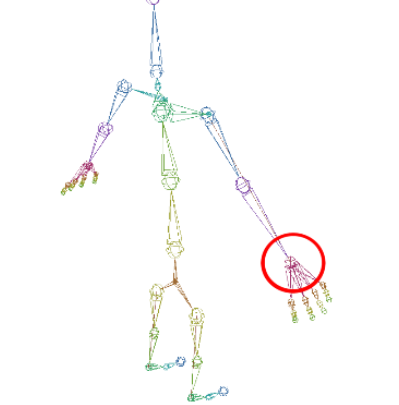
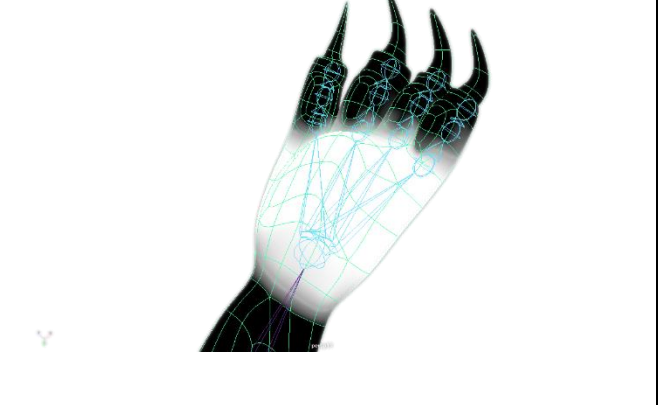
*** Este joint no tiene área de influencia.*

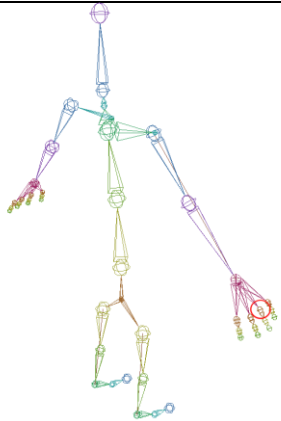
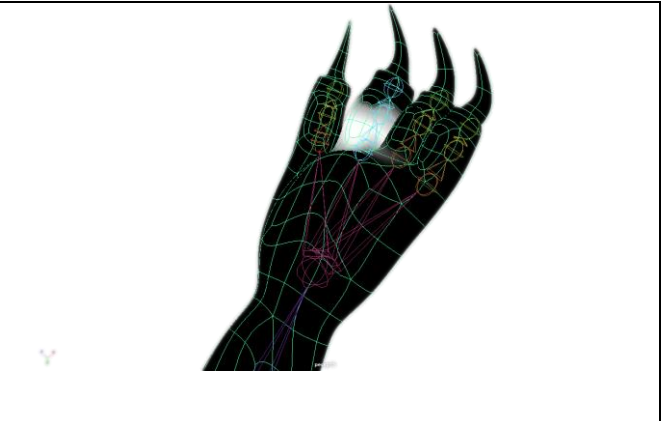
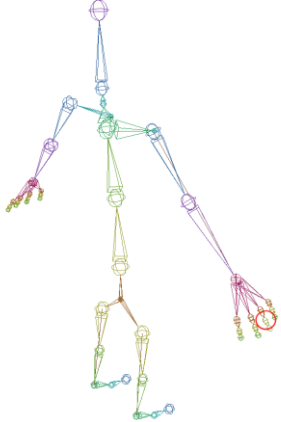
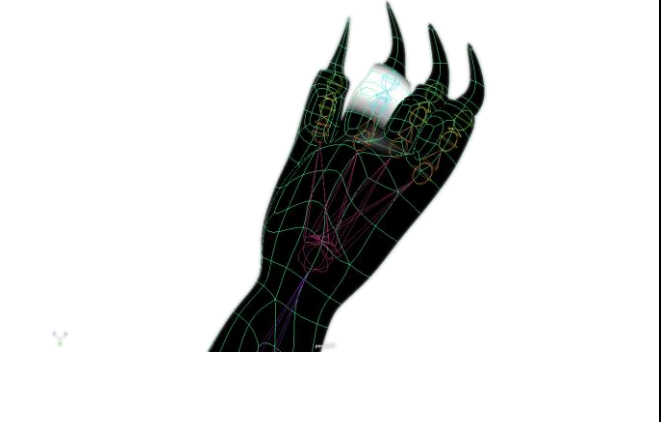
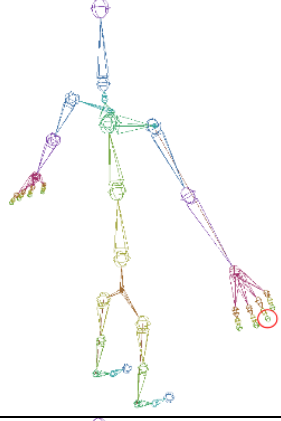
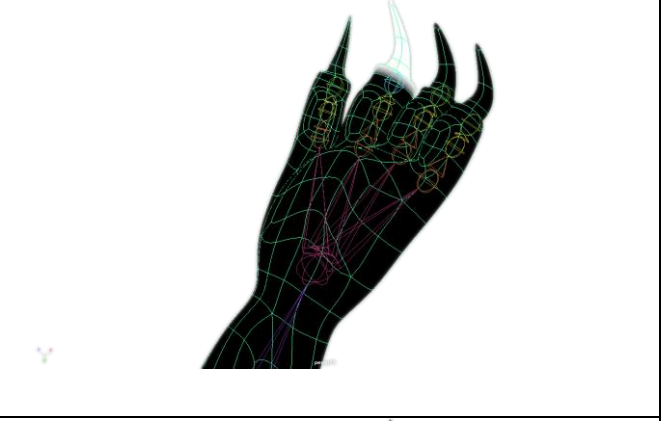
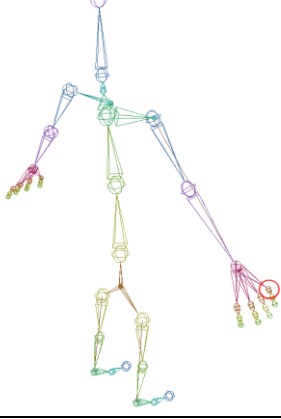
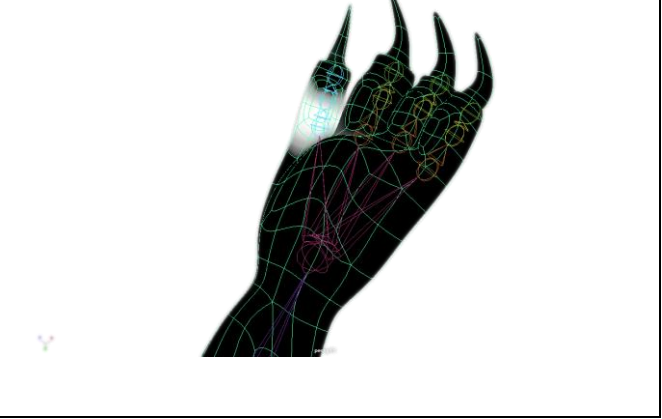
Apéndice VII – Tabla de Skin Weights del oso (Urso)

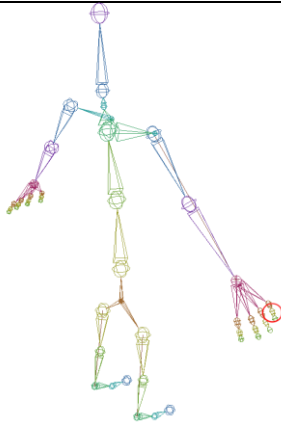
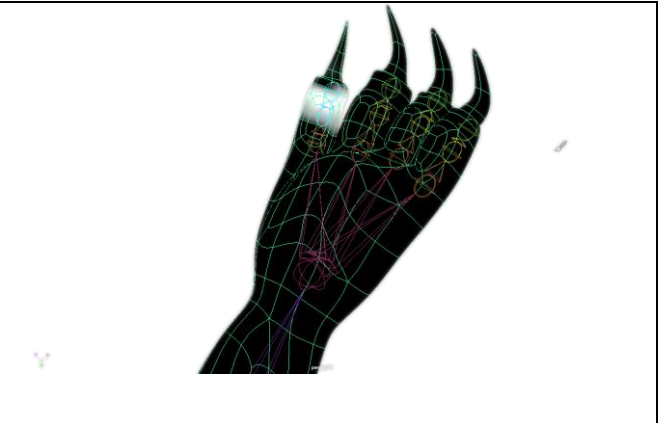
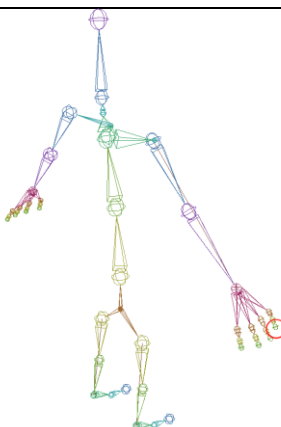
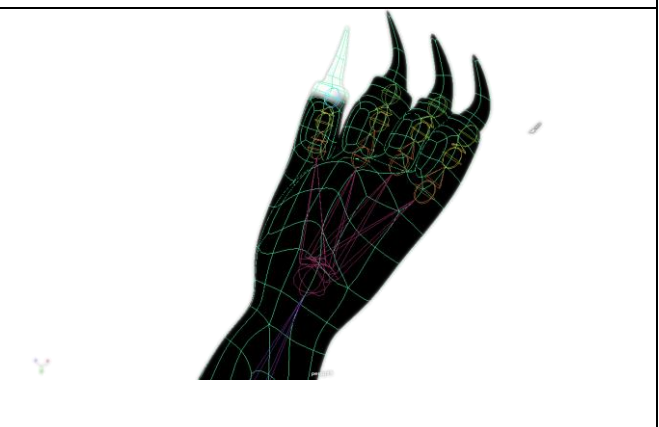
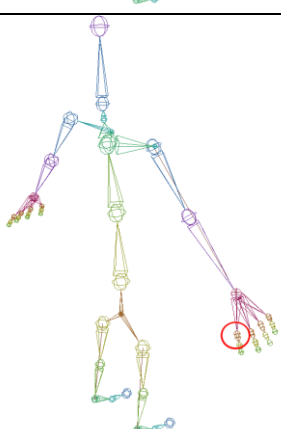
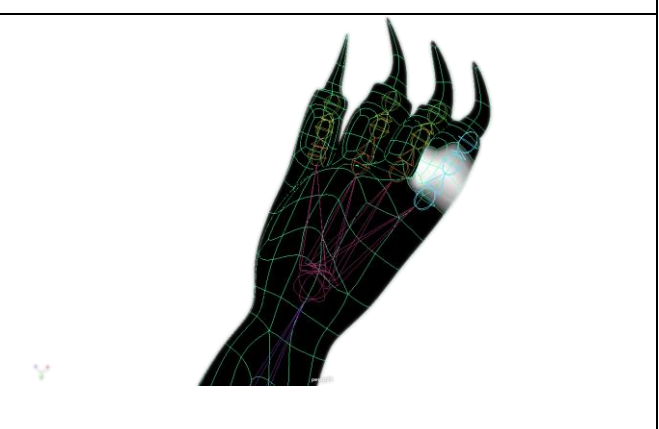
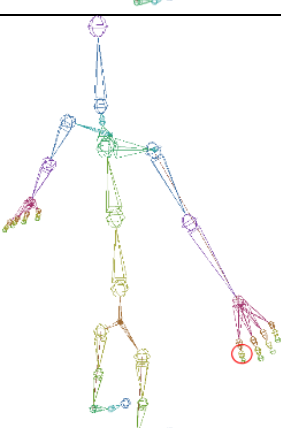
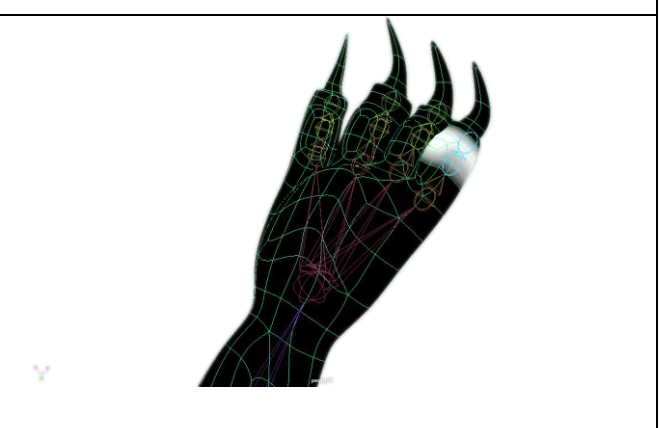
Tabla 7. Skin Weights de Urso

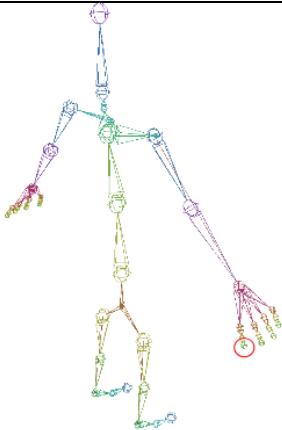
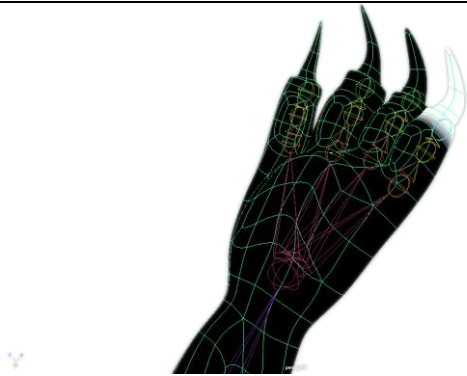
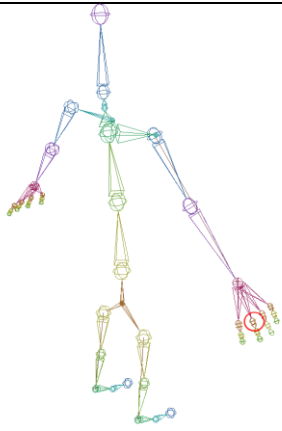
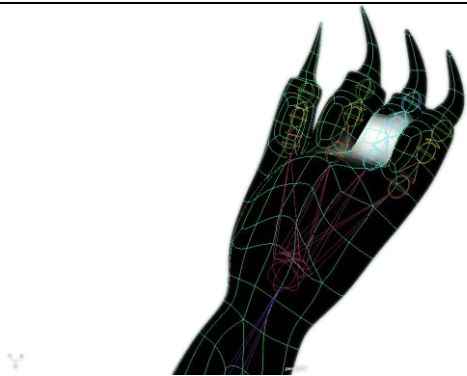
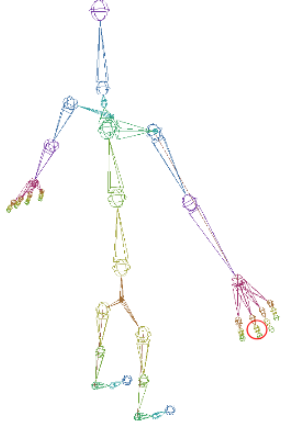

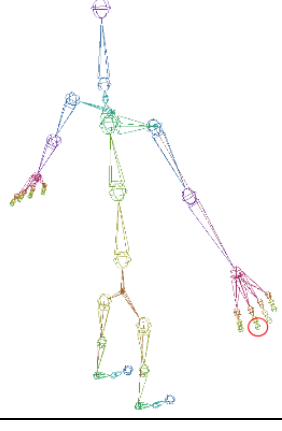
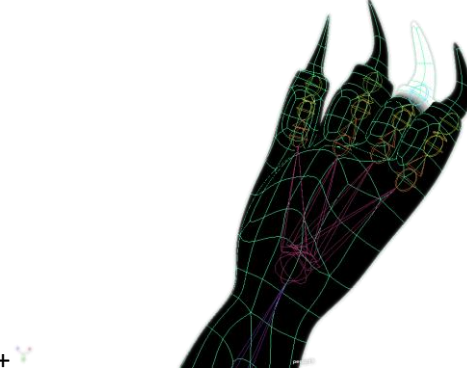
	Joint	Área de influencia en la geometría
Hip		
Spine1		
Spine2		

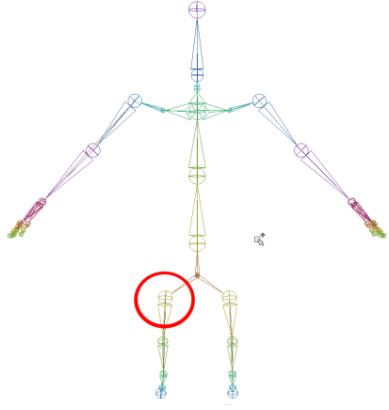
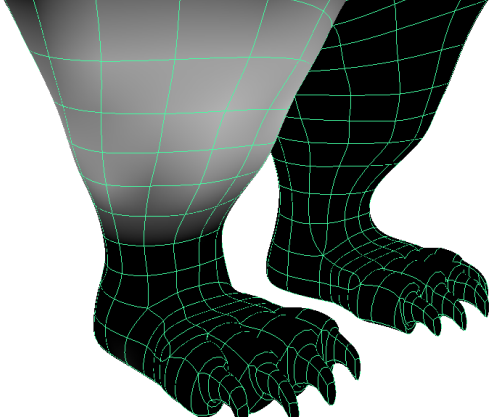
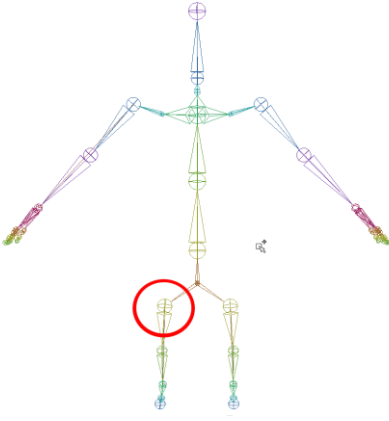
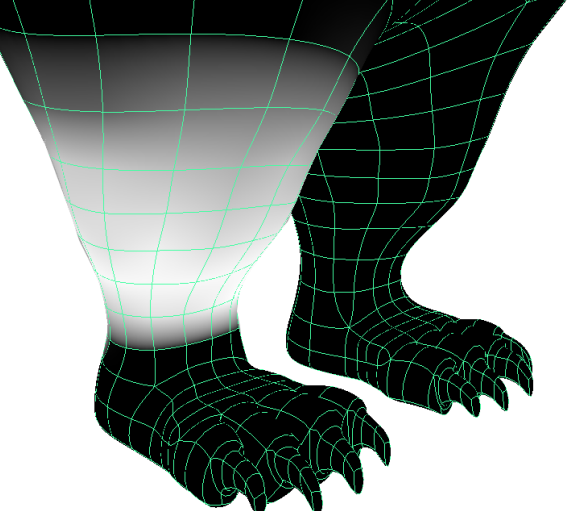
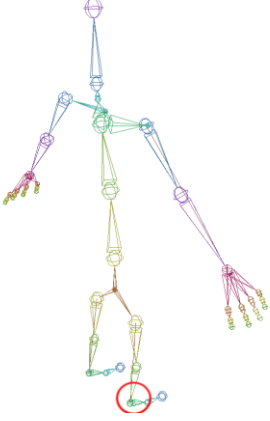
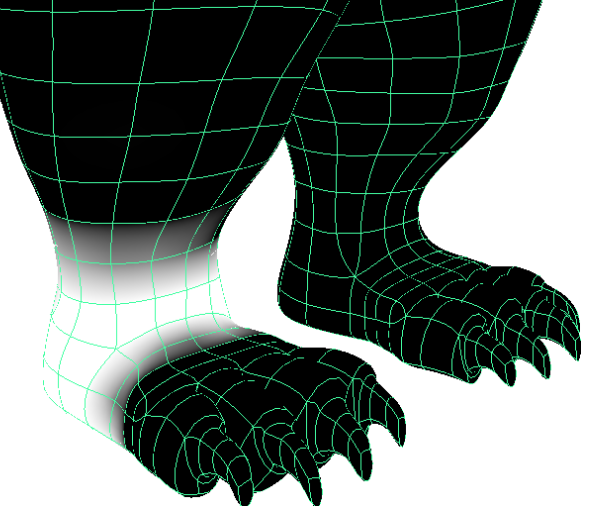
<p>Spine3</p>		
<p>Neck</p>		
<p>Head</p>		
<p>HeadTip**</p>		

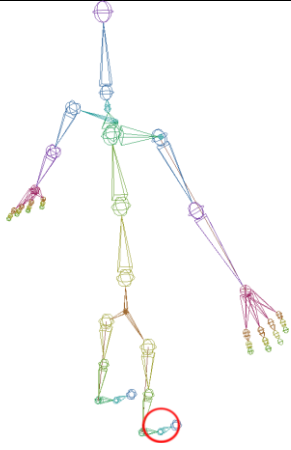
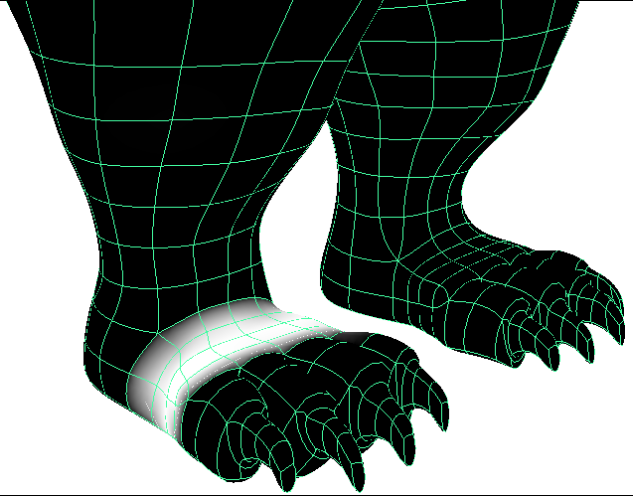
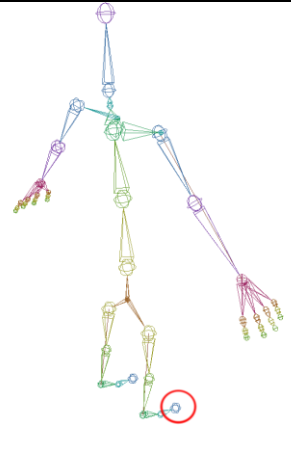
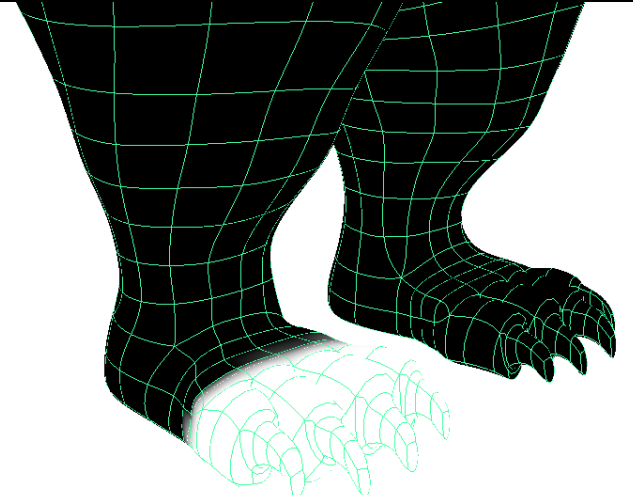
R_Clavicle*		
R_Shoulder*		
R_Elbow*		
R_Wrist*		

R_Index1*		
R_Index2*		
R_Index3*		
R_Thumb1*		

R_Thumb2*		
R_Thumb3*		
R_Lit1*		
R_Lit2*		

R_Lit3*		
R_Ring1*		
R_Ring2*		
R_Ring3*		

<p>R_LegTop*</p>		
<p>R_Knee*</p>		
<p>R_Foot*</p>		

R_Toe*		
R_ToeTip*		

* El joint del lado contrario del cuerpo tiene la misma influencia pero en el lado contrario del cuerpo. Por ejemplo, sólo está en la tabla el joint del hombro derecho (R_Shoulder) porque el del lado izquierdo (L_Shoulder) es igual pero en el lado contrario.

** Este joint no tiene área de influencia.